Influence des eaux résiduaires de tannerie sur le poids de la matière sèche

Hiouani Fatima[1], Messadia Hassen[2], Masmoudi Ali[3], Madani Djamila[4], Tir Chafia[5]
[1.3]Université de Biskra, Algérie. hiouani.fatima@yahoo.fr
[2]Université de Batna, Algérie
[4,5]Université de M’sila, Algérie

RESUME
Dans les régions souffrant de pénurie d’eau, comme les zones arides et semi arides, ou l’insuffisance voire la rareté en eau, pose inévitablement des problèmes surtout au point de vue de la satisfaction des besoins quantitatifs d’irrigation en agriculture, le recyclage des eaux résiduaires comme ressource complémentaire en eau s’avère intéressant pour les sols cultivés pour résoudre la problématique posée en agriculture par l’insuffisance des ressources hydrauliques dans ces zones. Il en résulte, de l’étude de l’influence des eaux résiduaires de tannerie sur le poids de la matière sèche (pieds tallés et racines)sur une période de 55 jours, un effet non significatif de l’eau résiduaires de tannerie sur le poids de la matière sèche.
Mots clés: eaux résiduaires, matière sèche, poids, tannerie.

SUMMARY
In the areas suffering from water shortage, like the arid and semi arid regions, or the insufficiency even scarcityout of water, inevitably pose problemsespeciallyfrom the point of viewsatisfaction of the quantitative needsof irrigation in agriculture, the recycling of wastewaterlike complementary water resourceprove to be interestingfor the cultivated groundsto solve the problemsposed in agricultureby the insufficiency of the hydraulic resourcesin these zones. It results from the, study of the influence of tannery wastewater on the weight of the driesmatter (tillered feet and roots)over one 55 days period, a non significant effecttannery wastewater on the weight of the dries matter.
Key words: wastewater, driesmatter, weighttannery.

1. INTRODUCTION
L’accroissement démographique et l’urbanisation que connaît le monde actuel engendrent une utilisation importante de l’eau qui se retrouve par la suite polluée et rejetée dans la nature sans traitement préalable.
La réutilisation de ces eaux en agriculture est une pratique qui devient de plus en plus courante partout dans le monde particulièrement dans les pays qui soufre de la rareté des ressources en eau, surtout dans les régions arides et semi- arides.
Ces eaux usées non traités posent des problèmes sérieux pour le sol et surtout pour l’homme car elles contiennent des substances chimiques dangereuses et des microorganismes pathogènes. Cependant une utilisation sans risque de ces eau n´nécessiterait qu’elles soient traitées avant utilisation. Selon une étude faite par Global Water Intelligence, en 2005, seulement 5% des eaux usées traitées de la planète sont réutilisées.

2. MATERIELS ET METHODES
2.1. La technique en vase de végétation
Dans des pots cylindriques en polychlorure – vinyle, (diamètre supérieure à 16 cm, diamètre inférieur à 11 cm, hauteur 16 cm). Les graines d’avoine (WI 78) sont enfouies à une profondeur de 3cm et réparties d’une façon homogène sur toute la surface du pot.
Au plan expérimental, nous avons retenu deux traitements :
Le système témoin : (sol + eau distillée).
Le système sol + eau résiduaire de tannerie
La récolte a été effectuée au stade grain laiteux, et cela a permis de mesurer le poids de la matière sèche du végétal (gramme de MS/pot), aussi bien de la partie aérienne que la partie souterraine (racine).

2.2. L’eau résiduaire

Les eaux résiduaires utilisées dans cette expérience proviennent des rejets de l’usine de tannerie, de la ville de Batna. Les résultats de l’analyse physico-chimique montre que les eaux usées présentent un caractère basique (pH=8.39). Les concentrations en métaux lourds présent dans les eaux résiduaires sont : Pb = 1.7mg/l, Zn = 0.64mg/l et Cu = 0.18mg/l. Elles sont inférieur aux normes admet dans la valorisation agricole des eaux usées.

Les caractéristiques chimiques de ces eaux résiduaires sont figurées dans le tableau 1.

Tableau 1. Composition chimique des eaux résiduaires tannerie

pH	8.39	Na^+ mg/l	165.25
CE dS/m	3.29	K^+ mg/l	47.26
MO mg/l	15.1	HCO_3^- meq/l	16.75
Pb mg/l	1.7	Cl^- mg/l	259.5
Zn mg/l	0.64	SO_4^{--} meq/l	4.46
Cu mg/l	0.18	Ca^{++} mg/l	13.29
Mg^{++} mg/l	34.36		

2.3. Le sol

Le sol possède une texture argilo-limoneuse et un pH basique (pH= 8.51). En ce qui concerne la matière organique, notre sol est moyennement riche en matière organique. Les taux de carbone et l’azote sont respectivement de 1.9 et 0.27% (Tableau 2).

Tableau 2. Caractéristiques physiques et chimiques du sol

Granulométrie	Argile %	35.24
	Limon fin %	41.89
	Limon grossier %	16.27
	Sable fin %	04.89
	Sable grossier %	01.71
pHeau (1/2.5)		08.51
CE dS/m à 25°C (1/5)		02.37
Calcaire total %		26.66
Calcaire actif (%)		15.00
Caractéristiques biologiques	N total%	0.27
	C%	01.90
	C/N	07.03
	MO%	03.26
Bases échangeables	Mg^{++} meq/100g	06.31
	Na^+ meq/100g	05.54
	K^+ meq/100g	05.10
	Ca^{++} meq/100g	21.80
CEC meq/100g		43.00

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

La biomasse sèche peut être définie comme le reflet des réserves accumulées préalablement et résultent de l’activité photosynthétique (Mazliak, 1982).

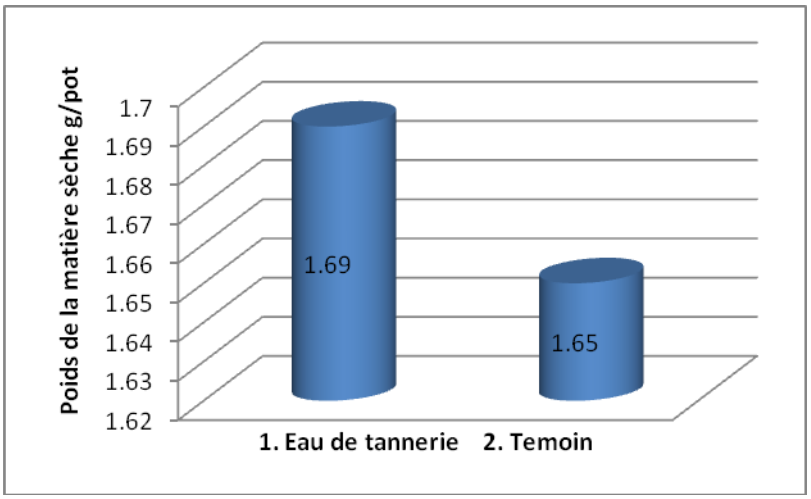


Figure 1. Evolution du poids de la matière sèche des pieds tallés (g/pot)

Les résultats obtenus chez cette graminée et concernant l’effet de l’épandage des eaux résiduaires sur le poids de la matière sèche (pieds tallés et racines) révèlent une faible augmentation du rendement de la matière sèche dans le système irrigué par l’eau résiduaire de tannerie comparativement à celle produite dans le système témoin.

En ce qui concerne l’effet des eaux résiduaires sur le poids de la matière sèche des pieds tallés, nous enregistrons une quantité de 1.65 g de M.S/pot pour le témoin et 1.69 g de M.S/pot par l’eau de tannerie (Figure 1).

En plus, nous notons une biomasse de 0.54 g/pot pour le système eau de tannerie et 0.52 g/pot dans le système témoin dans la partie racinaire (Figure 2).

Nous remarquons que l’effet des eaux résiduaires est très faiblement prononcé sur le rendement de la matière sèche "pieds tallés et racines".

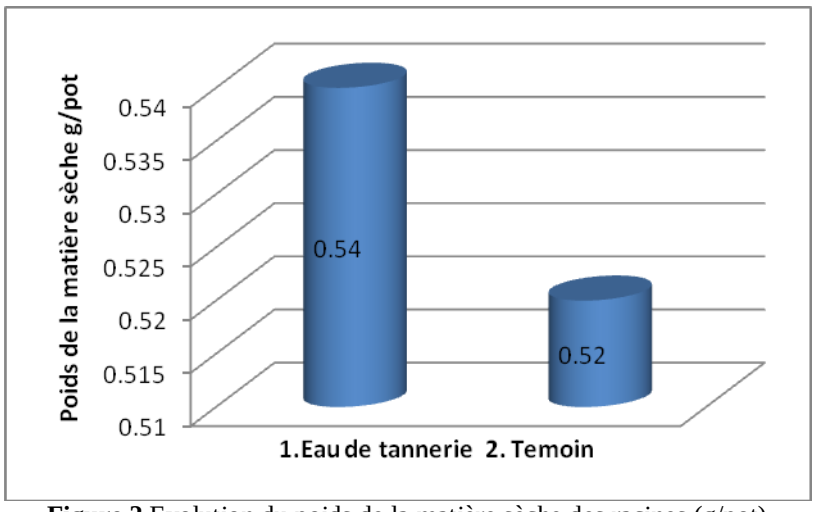


Figure 2.Evolution du poids de la matière sèche des racines (g/pot)

De son coté Cherak, (1999) avait notait un effet à court terme non significatif de l’application des eaux résiduaires sur la production de matière sèche par la plante "Avoine WI 88".

D’autre part, Xanthoulis et *al*, (2002), déclarent que la production de la matière sèche totale est du même ordre de grandeur (supérieure à 10 t MS/ha) pour les deux types d’eau utilisée (eau usée, eau de nappe), mais se répartit différemment en fonction de la coupe ; la deuxième coupe produisant moins de matière sèche dans le traitement eau usée.

Par contre, Mouhanni et Bendou, (2011), ont trouvés quel’irrigation avec l’eau usée épurée a un effet positif sur l’évolution du poids frais et du poids secs de la matière végétale de la plante gazon en faveur des apports en éléments fertilisants des eaux usées épurées en comparaison avec les eaux de la nappe.

4. CONCLUSION

La réutilisation des eaux résiduaires pour l’irrigation peut constituer un appoint non négligeable dans la couverture des besoins en eau des cultures. Notre travail porte sur l’effet des eaux résiduaires sur la production de la matière sèche. Cette étude a été effectuée sur une période de 55 jours et au moyen de la culture en pot. Les résultats obtenus montrent que la production de biomasse végétale sèche (pieds tallés, racines) par la graminée fourragère « avoine (WI 78) » est comparable dans les deux traitements utilisés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Chaussod R, Germon JC, Catroux G. (1981) : Essai de détermination au laboratoire de l’aptitude à la minéralisation d’azote des boues résiduaires urbaines. Extrait du procès verbal de l’acad. Agri. Fr. 67(9), pp 272-771.

-Cherak L. (1999) : Etude expérimentale de l’influence des eaux résiduaires (Batna, Fisdis, El Madher) sur certaines activités microbiennes (minéralisation du carbone et de l’azote) dans un sol calcaire de la région d’El Madher (w. Batna). Incidences sur les microflores telluriques et le comportement d’une graminée fourragère (Avena alba). Mag. Ins Agr de Batna, 108p.

-Global Water Intelligence (2005) : Water Reuse Markets 2005- 2015: A Global Assessment & Forecast.

-Mazliak P. (1982) : Physiologie végétale croissance et développement. Vol 2. Ed Herman, 461p

Mouhanni H, Bendou A. (2011) : Impact de la reutilisation des eaux usees epurees en irrigation sur la croissance de la plante gazon. Revue internationale d'héliotechnique n° 43 (2011), 14-21.

-Xanthoulis D, Rejeb S, Chenini F, Khelil MN, Chaabouni Z, Frankinet M et Destain JP. (2002) : Optimisation de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation.Rapport d’expertise. Sciences du vivant : Sciences de l'environnement & écologie 81p.

Caractérisation géochimique des eaux de la nappe superficielle dans l’oasis de Ouargla (Sahara algérien)

Abdelhak Idder*, Tahar Idder, Imed-Eddine Nezli, Ismaiel Berkal, Khadidja Boukhris
Laboratoire de Recherche sur la Phœniciculture, Université Kasdi Merbah Ouargla (Algérie)
*Email: idder_haki@yahoo.fr

RESUME
L’étude présentée s’intéresse à la caractérisation géochimique de la nappe superficielle et à l’examen des processus de précipitation des sels dans une parcelle à texture sableuse non cultivée située dans l’oasis de Ouargla. Les résultats obtenus montent que les eaux de cette nappe possèdent une salinité extrêmement élevée attestée par des valeurs de conductivités éclectiques qui varient, d’amont en aval du sens d’écoulement, de 25,7 dS /m à 171,9 dS/m. Par ailleurs, les résultats des analyses anioniques et cationiques mettent en évidence une supériorité remarquable du sodium parmi les cations (sa teneur augmente de 168, 48 meq/l en amont à 978,26 méq en aval) et du chlore parmi les anions (sa teneur augmente de 218,31 meq/l à 1225,35 meq), ce qui confère à ces eaux un faciès chimique dominant chloruré-Sodique. L’étude de l’indice de saturation des composantes halites, anhydrites et aragonites montre que la dissolution des formations gypseuses est due à l’augmentation de l’alcanisation des eaux d’une part et à la précipitation de l’aragonite, de la calcite et de la dolomite d’autre part. La sensibilité des minéraux à l’indice de saturation met en évidence une précipitation prioritaire des éléments carbonatés suivie des gypsites et en dernier lieu de l’halite.
Mots clés : Algérie, géochimie, Nappe phréatique, oasis de Ouargla,

SUMMARY
The study presented is interested to geochemical surface water characterization and examination of the process of precipitation of salts in a plot in texture uncultivated Sandy located in the oasis of Ouargla. The results rise that the waters of this slick possess extremely high salinity attested by eclectic conductivities values that vary, upstream downstream flow direction, of 25.7 dS/m at 171.9 dS/m. otherwise, anionic and cationic analyses results highlight a remarkable superiority of sodium among cations (its content increases from 168(, 48 meq/l upstream to downstream 978,26 meq) and chlorine among anions (its content increases 218,31 meq/l 1225,35 meq), which gives these waters a chloride-sodium dominant chemical facies. The study of saturation of the area, anhydrites and be components index shows that the dissolution of the gypseous formations is due to increase the alkalinization of water on the one hand and the precipitation of the aragonite, calcite and dolomite on the other hand. The sensitivity of saturation index minerals highlights priority precipitation of carbonate elements followed by the gypsites and finally the halite.
Key words: Algeria, geochemistry, groundwater, oasis of Ouargla,

1. INTRODUCTION

Différents processus peuvent contribuer à la dégradation des sols (l'érosion, la salinisation, la contamination, le drainage, l'acidification, l’altération et la disparition de la structure du sol, ou encore la combinaison de ces facteurs).
La salinisation, l'un des plus importants phénomènes qui causent la dégradation du sol, c'est la concentration du taux de sels de sodium par exemple, anormalement élevé dans les sols en raison de l'évaporation.
Ouargla est l’une des principales oasis du Sahara Algérien. Elle est comme de nombreuses autres agglomérations du Sahara algérien actuellement affectée par une forte salinisation de ses sols. Cette salinisation est due aux remontées des eaux de la nappe superficielle, des rejets d’eaux de drainage et des eaux résiduaires urbaines. Ces fléaux ont fait l’objet d’un bon nombre de travaux antérieurs (SERVANT, 1978; GUENDOUZ *et al.*, 1992; DAOUD et HALITIM, 1994 ; NEZLI *et al*., 2007; BG, 2003; IDDER, 2006).
La nappe phréatique qui se situe à faible profondeur sous la surface du sol, joue par son caractère fortement salin un rôle très important dans l'accentuation du phénomène de la salinisation du sol (IDDER *et al*., 2012). Pour cela, ce travail sera consacré à l'interprétation et la discussion des résultats

obtenus en utilisant le modèle géochimique (PHREEQC) et à la définition de l’ordre de précipitation des minéraux.

2. MATERIELS ET METHODES

Le but de ce travail consiste à la détermination de l'influence des précipitations salines, issues de la nappe phréatique, sur la dégradation des sols de l’oasis de Ouargla, ainsi qu’à la mise en évidence de l’ordre de précipitation des sels formés en utilisant les indices de saturation IS du modèle thermodynamique PHREEQC à 25 °C, tel que IS = log(IAP/K) [1], où IAP est le produit d’activité ionique et K est la constante d’équilibre.

Ce travail a été réalisé dans un secteur non cultivé de l'exploitation de l’ITAS (Université de Ouargla), ainsi qu’au niveau de la Sebkha de Oumraneb, située au Nord-est de la ville de Ouargla (Figure 1). Les sols de ces deux sites sont des sols nus soumis uniquement à l'influence des facteurs climatiques et à la remontée de la nappe phréatique. Cette nappe suit un écoulement orienté sud-nord.

Huit échantillons de la nappe phréatique ont été prélevés pour la détermination de la qualité physico-chimique des eaux de cette nappe. Les points de prélèvement sont répartis comme suit :

Trois au niveau de l’exploitation de l’ITAS (Pro 1, 2 et 3) ;

Deux au niveau de deux piézomètres situés à proximité de la Sebkha Oumraneb (pzo 16 et 14) ;

Trois situés le long d’un drain qui relie une station de pompage (SPED) à la Sebkhat Oumraneb (entrée, sortie et point intermédiaire).

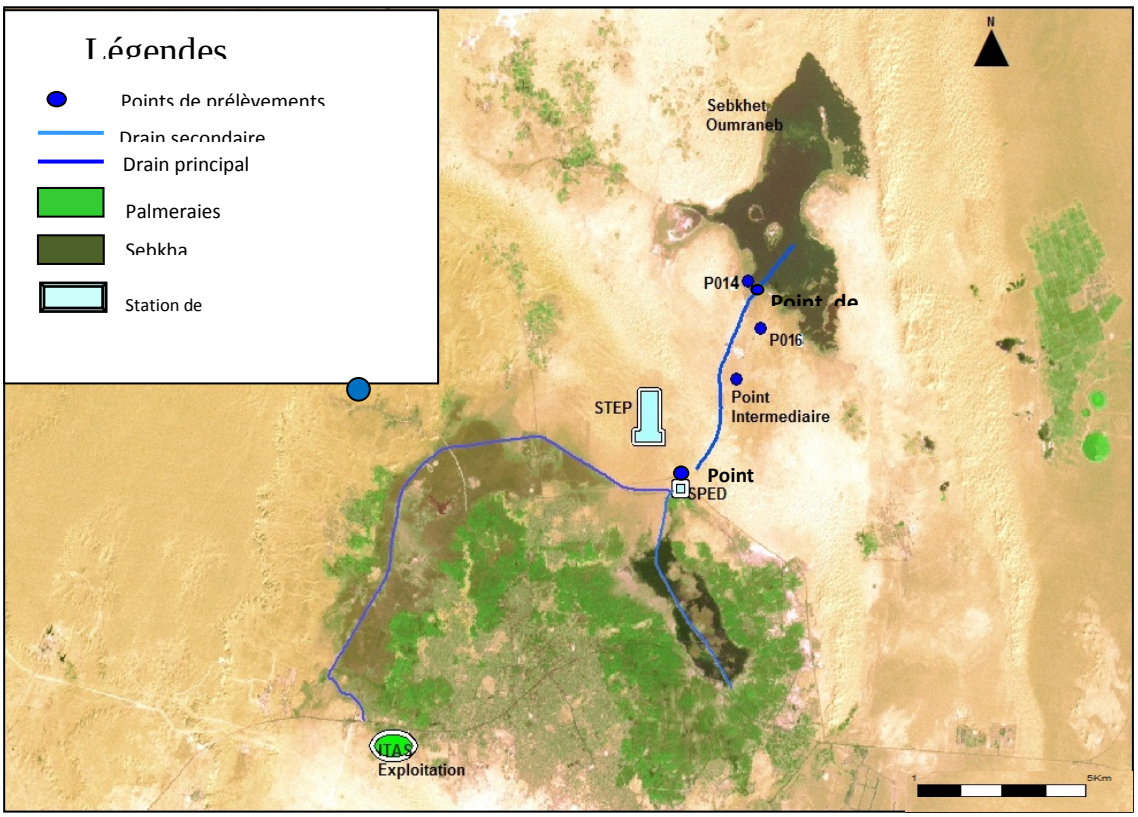


Figure 1. Carte de situation des points de prélèvement dans la nappe phréatique.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

La caractérisation ionique des eaux phréatiques menée sur le site d’étude selon une toposéquence orientée Sud/Nord montre que dans tous les points de prélèvement le sodium parmi tous les cations majeurs (K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}) a affiché les concentrations les plus importantes (168,48 meq/l en amont à 978 meq/l en aval) (Figure 2). Parmi les anions majeurs (SO_4^{2-}, HCO_3^-), c’est le chlore qui a enregistré les concentrations les plus élevées (218,31 à 1225,35 meq/l d’amont en aval) (Figure 3).

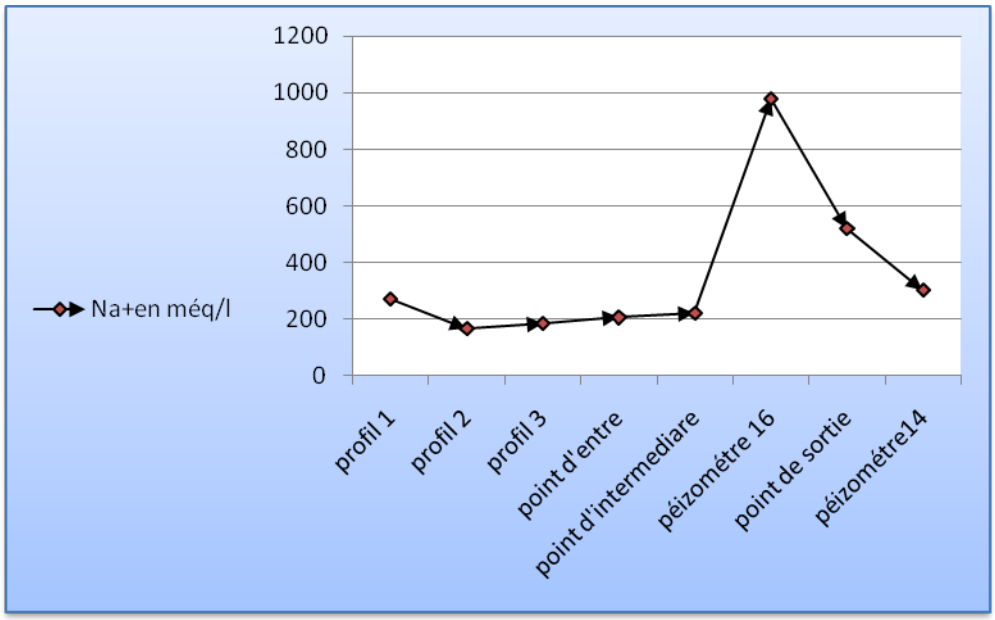


Figure 2. Profil ionique de l’évolution des concentrations en sodium dans la nappe phréatique

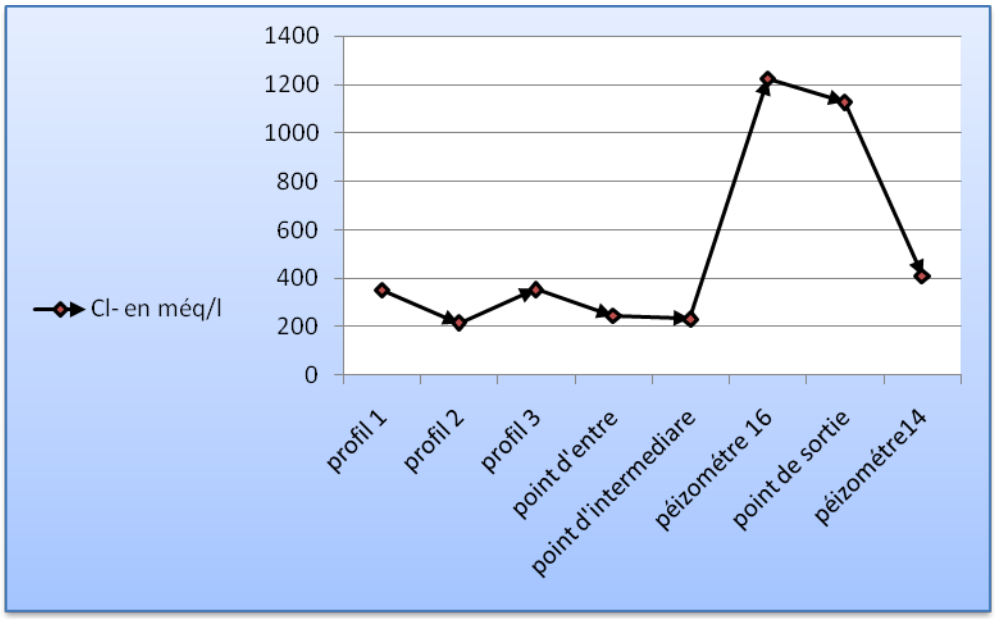


Figure 3. Profil ionique de l’évolution des concentrations en chlore dans la nappe phréatique

Le profil salin des huit points d’eau analysés dans la toposéquence étudiée atteste de la très mauvaise qualité de ces eaux pour l’irrigation. Les valeurs de la conductivité électrique varient entre un minimum 25,7 dS/m et un maximum de 171,9 dS/m (Figure 4). Ces valeurs placent ces eaux dans la classe C4S5 (Très mauvaise qualité, selon DURAND, 1958).

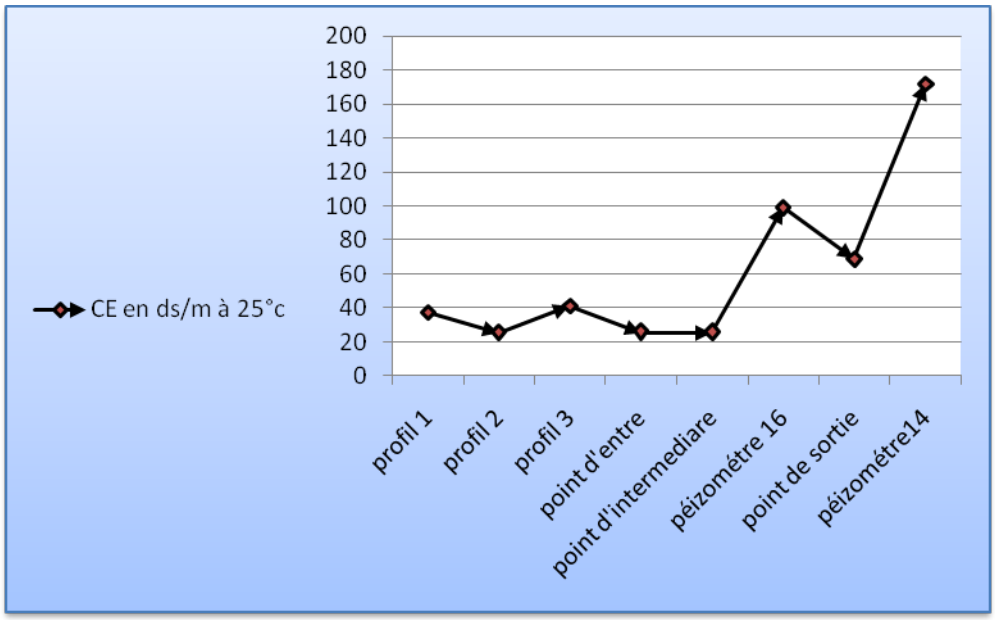


Figure 4. Profil salin des eaux de la nappe phréatique

Les indices de saturation des principales phases Anhydrite ($CaSO_4$), Aragonite ($CaCO_3$), Calcite ($CaCO_3$), Dolomite (CaMg) $(CO_3)_2$, Halite (NaCl), Gypse ($CaSO_4$:$2H_2O$), (CO_2) et (H_2O) des eaux échantillonnées sont présentés dans la figure 5. Ces indices de saturation des minéraux dissous dans les eaux de la nappe phréatique sont calculés à partir de la formule [1] Ils montrent la sensibilité des minéraux carbonatés en l'occurrence la dolomite, la calcite et l'aragonite à la précipitation. Ceci est également le cas pour les minéraux évaporitiques, notamment le gypse et l'anhydrite.

Les minéraux carbonatés présentent des indices de saturation différents. Celui de la calcite varie de 0,37 à 2,12, suivi de celui de l'aragonite, qui varie de 0,18 à 1,94, et enfin de celui de la dolomite qui évolue de 1,44 à 4,53.

Si l'on admet que l'état d'équilibre se fait dans l'intervalle de - 0,5 à + 0,5 (DROUBI et *al.*, 1976), on peut dire que les trois éléments ont atteint leur état de saturation ou sursaturation dans la plupart des eaux analysées.

Les minéraux évaporitiques en référence aux gypsites subissent des précipitations après les carbonates moins solubles. Le gypse et l’anydrite issus des minéraux évaporitiques enregistrent des indices de saturation qui varient entre -0,2 et +0,58, favorisant ainsi le déclanchement de la précipitation. Enfin, l’halite dont les indices de saturation varient de - 3,34 à -1,76 reste par conséquent sous-saturé, malgré la dominance de ses composants chimiques (Na^+ et Cl^-) en concentration. Cette sous-saturation expliquée par sa grande solubilité s’exprime par l’action conjuguée de la remontée capillaire de la nappe dans les tranches du sol et les intenses évaporations saisonnières. La manifestation la plus apparente est celle des efflorescences blanchâtres et parfois de croutes à la surface du sol (Figure 6).

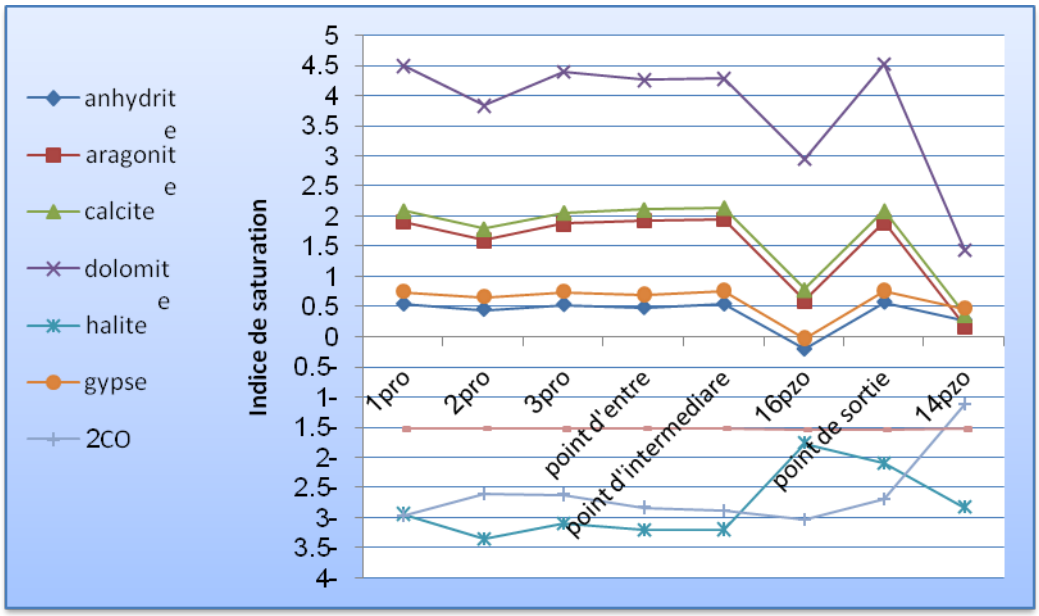


Figure 5. Evolution des l’indices de saturation des sels de la nappe phréatique

Figure 6. Manifestations salines observées sur les sites d’étude

4. CONCLUSION

Ce travail consiste à mesurer la salinité des eaux de la nappe phréatique ainsi que le comportement des éléments chimiques, à travers la caractérisation géochimique et le processus d'accumulation des sels et leurs influences sur le sol.

Les résultats obtenus montent que les eaux de la nappe phréatique sont extrêmement salées et leurs conductivités électriques sont très élevées pouvant atteindre 171.9 dS/m. L’application de l’indice de saturation à travers le logiciel PHREEQC pour les différents minéraux présents dans l’eau phréatique montre un ordre précis de précipitation de ces minéraux. Les carbonates précipitent en premier, suivis des gypsites et enfin de l’halite.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-BG., (2003) : Étude d’assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d’irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Rapport de la mission II B .Caractérisation environnementale de la situation actuelle. Bonard &t Gardel, Lausanne, pp.17-18.

-Boukhris K. (2012) : Mode de dégradation des aridosols par précipitations salines saisonnières, approche géochimique. (Cas de la cuvette de Ouargla). Mémoire de fin d’études d’ingénieur en Ecologie. Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, 75 p.

-Daoud Y, Halitim A. (1994) : Irrigation et salinisation au Sahara Algérien :. *Sécheresse vol* 5 (03), 151-160.

Droubi A, Fritz B, Tardy Y. (1976) : Equilibres entre minéraux et solutions. Programmes de calculs appliqués à la prédiction de la salure des sols et des dos optimales d'irrigation :. *Cahiers ORSTOM, série pédologie*, VOL XIV,13-38.

-Durand JH. (1958) : Les sols irrigables - étude pédologique. Alger, 190 p.

-Guendouz A, Reghis Z, Moulla AS. 1992. Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla. Rapport, 65p.

-Idder A H. (2006) : Mode de fixation et de cristallisation des sels dans un sol nu non irrigué dans la région de Ouargla . Thèse Mag INA El-Harrach, Algérie, 100p.

-Idder T, Idder A, Mensous M. (2012) : Les conséquences écologiques d’une gestion non raisonnée des eaux agricoles dans les oasis du Sahara algérien. Cas de l’oasis de Ouargla. In Apse C. De l’eau agricole à l’eau environnementale. Résistance et adaptation aux nouveaux enjeux de partage de l’eau en méditerranée,Ed. Quae, Collection Update Sciences&technologies,Versailles, France, pp. 209-218.

-Nezli IE, Achour S, Djabri L. (2007) : Approche géochimique des processus d’acquisition de la salinité des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l’oued M’ya (Ouargla) :. *Larhyss Journal*, 6, 121-134.

-Servant JM. (1978) : La salinité dans le sol et les eaux : caractérisation et problèmes d’irrigation drainage : *Bull. BRGM*, Sect. 2, 123-142.

Effet d’un stress hydrique sur la teneur en sucres solubles et les composantes du rendement chez le carthame (*Carthamus tinctorius* L.)

Imene MIHOUB*, Fatiha AID
[1]Laboratoire de Biologie et Physiologie des Organismes (LBPO), USTHB
*Email : Imene-mihoub@outlook.com

RESUME
Le carthame (*Carthamus tinctorius* L.), espèce oléagineuse appréciée pour sa qualité d’huile et pour sa rusticité, est adaptée aux climats arides et convient à un large type d’environnement. Notre étude a pour objet de déterminer l’effet d’un stress hydrique appliqué en pleine floraison sur les paramètres physiologiques et sur le rendement grainier et ses composantes chez quelques accessions de carthame. L’étude a été réalisée sous serre dans un dispositif en bloc aléatoire complet. La teneur en sucres solubles est linéairement et négativement corrélée à la teneur relative en eau (TRE), r=-0,62. La TRE explique une partie importante de la variation de la teneur en sucres solubles (R^2=0.42). Il existe une différence significative entre les rendements grainiers des plantes témoins et des plantes stressées, le stress provoquant une importante baisse du rendement. Une différence significative a été notée entre les accessions pour la biomasse aérienne, le nombre de grains et le nombre de capitules par plante.
Mots clés : carthame, stress hydrique, rendement, sucres solubles, teneur relative en eau

1. INTRODUCTION
L’Algérie est située au cœur du MENA (Middle East and North Africa), l’une des régions du monde les plus déficitaires en eau (Mouhouche et Guemraoui, 2004). Le déficit hydrique constitue un important facteur limitant les productions végétales en Algérie. Le carthame (*Carthamus tinctorius* L.) est une plante oléagineuse importante pour son huile hautement riche en acides gras essentiels (Johnson et al, 1999; Weiss, 2000). Le carthame peut donc être une culture prometteuse dans les agro-écosystèmes des zones arides en raison de son potentiel de croissance sous stress hydrique et de la valeur économique de son huile (Yau 2004). Au Maroc, où les conditions climatiques sont similaires à celles de l’Algérie, le carthame a montré une bonne adaptation à l’environnement aride et une bonne performance en termes de rendement grainier (Nabloussi et al., 2008). L’encouragement de la pratique de la culture du carthame dans des zones arides et semi-arides valorisera ces régions et contribuera à initier la production d’huiles alimentaires dont le niveau reste anecdotique en Algérie.
Parmi les stratégies qui permettent aux plantes de résister au stress hydrique, l’accumulation d’un certain nombre d’osmolytes, tel que les sucres solubles, s’est révélée être une stratégie pertinente chez différentes espèces (Chaves et al., 2003 et Shao et al., 2005). L’accumulation d’osmolytes permet aux plantes de garder la turgescence cellulaire et le volume cytosolique aussi élevés que possible et favorise la stabilité du rendement en conditions de déficit hydrique. Chez le carthame, peu d’études concernent l’ajustement osmotique, notamment, l’accumulation des sucres solubles. Le présent travail vise à évaluer l’effet du stress hydrique à la fois sur la teneur relative en eau, l’accumulation des sucres solubles et les composantes du rendement et à examiner la variabilité de ces paramètres chez quatre accessions de carthame.

2. MATERIELS ET METHODES
2.1. Matériel végétal
Le matériel végétal est constitué de quatre accessions de carthame : USDA6, USDA23 et USDA29 fournies par Western Regional Plant Introduction & Research Station (Université de Washington) et Vartouggourt fournie par un agriculteur des oasis du sud d’Algérie. Le choix des accessions pour cette étude a été basé sur une efficacité d’utilisation de l’eau contrastée. USDA6 ayant une meilleure efficacité de l’eau, USDA23 et VarTouggourt, ont une efficacité d’utilisation de l’eau intermédiaire alors qu’USDA29 possède la plus faible efficacité d’utilisation de l’eau.

2.2. Dispositif expérimental et application du stress hydrique
Les graines des quatre accessions ont été imbibées pendant 4 heures dans de l’eau puis mises en culture le 18/04/2012 sous serre, dans des pots de 12 L ayant 30 cm de diamètre (32 pots au total).

Chaque pot a été rempli au préalable avec un substrat contenant un mélange du terreau (1/3) et du sable (2/3). Avant le semis, les pots étaient arrosés à la capacité au champ pour favoriser la germination. Les pots sont répartis en deux lots constitués respectivement des plantes témoins et des plantes à stresser, chaque lot comprenant 16 pots avec les quatre accessions étudiées (4 répétitions par accession dans chaque lot). Un système d'irrigation goutte à goutte à déclenchement automatique a été installé pour assurer l'arrosage. Au début du cycle, l'arrosage s'effectuait de manière à apporter dans chaque pot 0,23 L par jour, la demande en eau étant calculée à partir des données climatiques. La quantité d'eau d'arrosage a été doublée à partir du 22/05/2012, car la demande de la plante avait augmenté à cause des températures élevées.

En pleine floraison, la contrainte hydrique a été appliquée en interrompant l'arrosage. Le déficit hydrique a duré 4 jours, du 92 au 95ème jour après semis. Des prélèvements ont été effectués le 94ème jour pour le dosage des sucres solubles et la teneure relative en eau a été mesurée le même jour. Les composantes du rendement ont été étudiées à la fin du cycle.

2.3. Détermination de la teneur relative en eau (TRE) et de la teneur en sucres solubles

Dans un premier temps, le poids d'une feuille fraîchement prélevée de chaque plante est mesuré par pesée (PF). Les feuilles sont ensuite mises séparément dans des tubes à essai contenant de l'eau distillée dans le réfrigérateur. Après 4 h d'hydratation dans ces conditions, les feuilles sont pesées pour obtenir le poids à la turgescence (PT). Le poids de la matière végétale sèche de ces échantillons (PS) est obtenu après passage à l'étuve (48 h à 60°C). La TRE est alors calculée en utilisant l'équation suivante :

$$TRE\ (\%) = ((PF - PS) / (PT - PS)) * 100$$

Le dosage des sucres est effectué par la méthode à l'anthrone sulfurique de Mc Cready et al., (1950). La lecture est effectuée sur un spectrophotomètre à $\lambda = 630$ nm. La teneur en sucres solubles est exprimée en mg/g de matière végétale fraiche (PF).

2.4. Mesures agronomiques et analyses statistiques

Nous avons déterminé sur chaque plante, le nombre de capitules, le nombre de grains, la biomasse aérienne à la maturité (BMa en g), le poids moyen d'un grain (pm1g : rapport du rendement grainier sur le nombre de grains, en mg/grain), l'indice de récolte (ir), le rendement grainier (en g). L'analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs (stress hydrique et accession) avec un niveau de risque $\alpha = 0,05$ a été réalisée. Le test non paramétrique de Kruskall-Wallis (KW) a été utilisé pour la teneur en sucre. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel STATISTICA 6.1.

3. RESULTATS

3.1. Teneur relative en eau et sucres solubles

Les valeurs de la TRE pour feuilles transpirantes sont en général comprises entre 60% et 95% selon les espèces et les conditions environnementales. Dans notre étude, la teneur relative en eau moyenne des plantes témoins est de 54% (Fig. 1). C'est une valeur très faible qui pourrait refléter un stress général présent dans la serre, probablement une conséquence des températures élevées observées sous serre durant la période de la floraison. Ces températures ont dû augmenter la demande en eau qui n'a pu être satisfaite par les apports quotidiens. Les plantes stressées possèdent une TRE moyenne de 41% soit une différence de 13% par rapport aux plantes témoins. Cependant, cette différence n'a pas été révélée significative par l'analyse de la variance (Table 2). La teneur relative en eau, ne varie pas de la même façon pour toutes les accessions (Table 1). La plus importante baisse de la TRE est notée chez Vartouggourt et USDA23 où on observe une diminution de la TRE de 31% et 25%, respectivement. Par contre, USDA29 possède une TRE faible aussi bien chez les plantes témoins que chez les stressées (38% et 35%, respectivement). USDA6 possède une TRE assez élevée et relativement constante chez les plantes témoins et stressées (56% et 63%, respectivement). La différence de TRE entre accessions pourrait être due à une différence de leur surface foliaire transpirantes, de capacité d'absorption de l'eau du sol, de capacité de régulation stomatique et/ou de leurs capacités d'ajustement osmotique (Nikzad et al., 2013).

La teneur en sucres solubles (Fig. 1) varie de 0,87 à 0,95 mg/g de PF pour les plantes stressées, soit une augmentation au cours du stress hydrique de 8,42%. La différence entre les teneurs en sucres des plantes stressées et témoins n'a pas été révélée significative par le test de Kruskall-Wallis (KW).

Cependant, ce test a révélé une différence significative pour la teneur en sucres entre les plantes possédant une TRE supérieur à 62% et celles possédant une teneur relative en eau inferieur à cette valeur (Fig. 2). Pour les plantes possédant une TRE supérieure à 62%, on note une teneur moyenne en sucres de 80,8 mg/g de PF. Pour les plantes possédant une teneur relative en eau inferieur à 62% on note une teneur moyenne en sucres de 114,4 mg/g soit 29,4% de différence. Selon la droite de régression (Fig. 2), nous pouvons constater que la variabilité de la TRE explique 42% de la variabilité de la teneur en sucre. Cette augmentation de la teneur en sucre, peut être la conséquence directe de la perte en eau lors du stress hydrique, il s’agirait probablement d’une concentration passive des sucres ne nous permettant pas de la lier directement à un ajustement osmotique, car dans ce cas on aurait tendance à s’attendre plutôt à une augmentation des sucres plus importante que la baisse de la TRE.

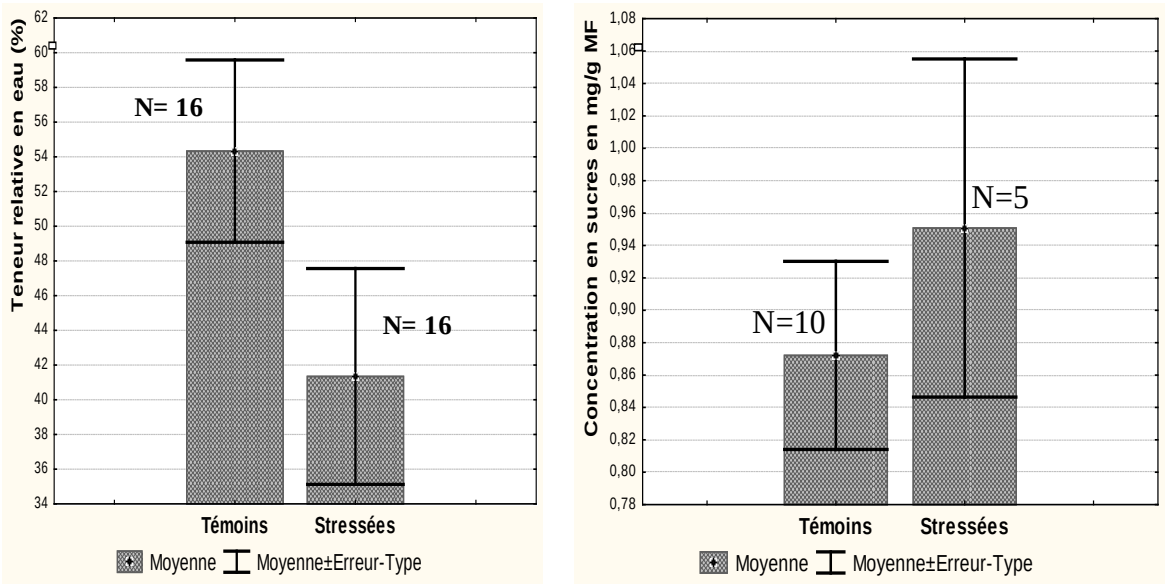


Figure 1. Valeurs moyennes de la teneur relative en eau (%) et de concentration en sucres (mg/g PF) des plantes témoins et des plantes stressées

Tableau 1. Valeurs moyennes des paramètres étudiées chez les plantes témoins et les plantes stressés pour chaque accession

		Moyennes						
		TRE (%)	**RdG (g/plante)**	**nb gpp**	**nb cpp**	**Pm1g (mg)**	**BMa (g/plante)**	**ir**
Témoins	**USDA6 (n=4)**	56,84 ET= 19,74	2,95 ET= 1,16	117,25 ET= 45,13	7,75 ET= 1,5	28,35 ET=19	15,1 ET= 2,21	0,2 ET= 0,1
	USDA23 (n=4)	56,36 ET= 24,84	2,42 ET= 1,48	50,5 ET= 31,79	3,25 ET= 0,5	54,45 ET= 40,62	10,27 ET= 4,66	0,28 ET= 0,19
	USDA29 (n=4)	38 ET= 23,23	1,72 ET= 0,82	75 ET= 34,32	4 ET=1,41	22,68 ET= 4,85	7,74 ET= 2,92	0,22 ET = 0,08
	Vartouggourt (n=4)	66,11 ET=10,24	4 ET= 1,56	90 ET= 21,64	4,75 ET= 1,25	43,5 ET= 11,85	15,75 ET= 4,79	0,25 ET = 0,05
Stressées	**USDA6 (n=4)**	63,19 ET= 30,39	3,33 ET= 0,83	138,66 ET= 76,26	5,25 ET= 3,4	28,09 ET= 11,26	16,03 ET= 5,66	0,21 ET= 0,02
	USDA23 (n=4)	31,47 ET= 14,96	0,97 ET= 0,89	35 ET= 31,65	2,66 ET= 1,15	27,57 ET= 22,01	6,85 ET= 4,77	0,12 ET= 0,07
	USDA29 (n=4)	35,07 ET= 27,73	1,5 ET= 0,77	67 ET = 46,24	4,25 ET= 1,7	24,18 ET= 8,88	6,65 ET= 2,97	0,21 ET= 0,03
	Vartouggourt (n=4)	35,64 ET = 17,73	2,1 ET= 0,94	60 ET= 17,93	4,5 ET= 1,29	30,43 ET= 6,11	11,9 ET= 3,55	0,18 ET = 0,09

TRE : teneur relative en eau, **RdG** : rendement grainier, **nb gpp** : nombre de grains par plant, **nb cpp** : nombre de capitules par plants, **pm1g** : poids moyen d’un grain, **BMa** : biomasse aérienne, **ir** : indice de récolte, **ET** : écart-type

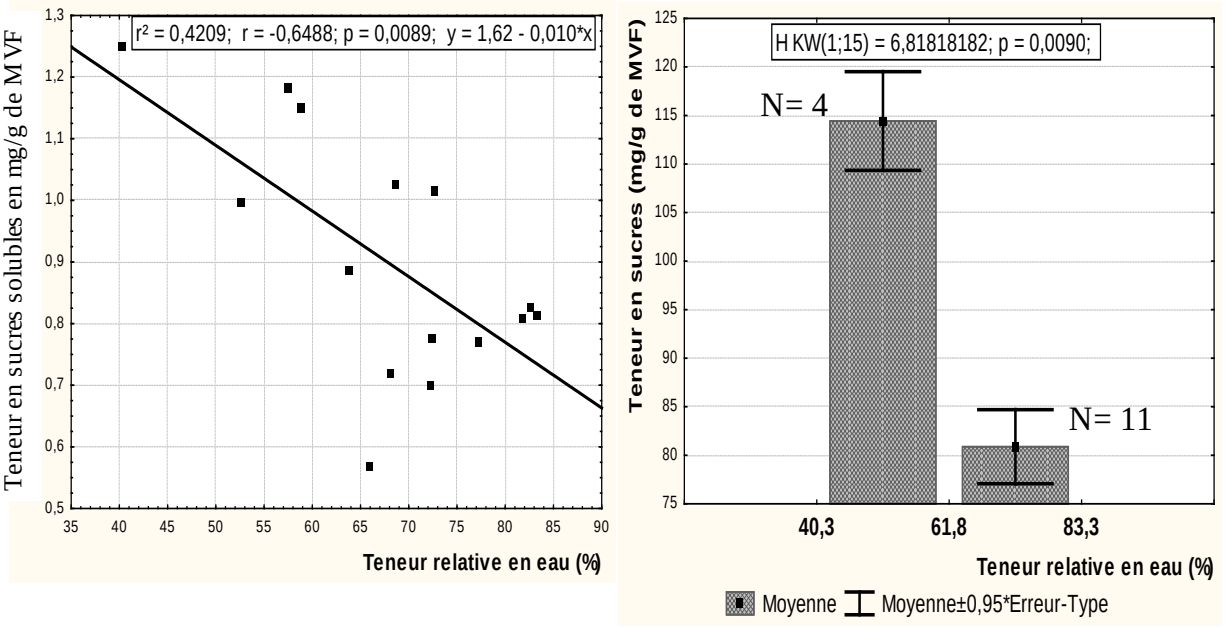

r² = 0,4209; r = -0,6488; p = 0,0089; y = 1,62 - 0,010*x
Teneur en sucres solubles en mg/g de MVF
Teneur relative en eau (%)
H KW(1;15) = 6,81818182; p = 0,0090;
N= 4
N= 11
Teneur en sucres (mg/g de MVF)
40,3
61,8
83,3
Teneur relative en eau (%)
Moyenne
Moyenne±0,95*Erreur-Type

Figure 2. Relation entre la teneur relative en eau (%) et la teneur en sucres (mg/g).

3.2. Composantes du rendement

L’ANOVA (Table 2) révèle qu’il y a un effet de stress hydrique (bloc) significatif sur le rendement grainier. Le stress hydrique provoque, en effet, une baisse de 32% du rendement. Le rendement grainier varie de 2,77 g/plante pour les plantes témoins à 1,88 g/plante pour les plantes stressés. Les résultats de l’ANOVA ne montrent pas de différence significative entre les plantes témoins et les plantes stressés pour le nombre de capitules par plante, le nombre de grains par plante, le poids moyen d’un grain, la biomasse aérienne et l’indice de récolte. En accord avec nos résultats, des études antérieures avaient montrées que les plantes de carthame affectées par un stress hydrique au stade floraison connaissaient une baisse de leur rendement (Tahmasebpour et al., 2011 ; Omidi, 2009 ; Yau, 2006).

Tableau 2. Résultats de l’analyse de la variance (ANOVA) des composantes du rendement, avec un niveau de risque $\alpha = 0,05$.

	Niveau de signification						
Effet	TRE	RdG	nb gpp	nb cpp	pm1g	BMa	ir
Accession	N.S	0,06	0,004	0,005	N.S	0,0008	N.S
Bloc (stress hydrique)	N.S	0,03	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S
Bloc*Accession	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S

TRE : teneur relative en eau, **RdG** : rendement grainier, **nb gpp** : nombre de grains par plant, **nb cpp** : nombre de capitules par plant, **pm1g** : poids moyen d’un grain, **BMa** : biomasse aérienne, **ir** : indice de récolte, **N.S** : non significative

Les quatre accessions étudiées ne subissent pas le même niveau de baisse du rendement grainier par le stress (Tab. 1). USDA6 connait une stabilité dans le rendement malgré le stress hydrique appliqué. Il est à noter que le rendement de cette accession est relativement élevé, ce qui lui confère deux avantages ; à la fois un bon rendement grainier en comparaison avec les accessions étudiées et une bonne stabilité du rendement en cas de stress hydrique. Le stress hydrique provoque une baisse de rendement chez USDA23 et Vartouggourt de l’ordre de 59,9% et de 47,5%, respectivement. USDA29 possède un rendement stable mais qui demeure le plus faibles des quatre accessions étudiées en conditions normales.

Au même titre que le rendement, la biomasse aérienne (Tab. 1) n’est pas affectée de la même façon par le stress hydrique chez les quatre accessions. USDA6 possède une biomasse aérienne relativement élevée et qui reste assez stable entre les plantes témoins et les plantes stressées. USDA29 possède aussi une biomasse aérienne stable entre les plantes témoins et stressés mais qui demeure faible. Le

stress hydrique provoque une baisse de la biomasse aérienne assez conséquente chez Vartouggourt et USDA23 de 24,4% et de 49,9%, respectivement

Le nombre de capitules par plante (Tab. 1) ne semble pas être très affecté par le stress hydrique, sauf chez USDA6 pour laquelle on note la plus importante diminution de l'ordre de 32,2%, mais cette baisse ne semble pas affecter le rendement des plantes stressées puisque ce dernier est plus élevé chez les plantes stressées comparé à celui des plantes témoins.

Le nombre de grains par plante (Tab. 1) semble être un caractère assez affecté par le stress hydrique chez USDA23 et Vartouggourt qui connaissent une baisse de l'ordre de 30,69% pour USDA23 et de 26,66%, respectivement.

L'indice de récolte et le poids moyen d'un grain (Tab. 1) restent assez stables entre les plantes témoins et les plantes stressées pour USDA6 et USDA29. Il diminue d'une manière assez importante chez USDA 23 et Vartouggourt, de 49,36% et 30,34%, respectivement, pour le poids moyen d'un grain et de 57% et 28%, respectivement, pour l'indice de récolte.

4. CONCLUSIONS

Le stress hydrique appliqué au stade pleine floraison chez le carthame a provoqué une baisse de la TRE des plantes stressées par rapport aux plantes témoins mais l'importance de cette baisse diffère selon l'accession. La TRE est corrélée négativement et linéairement à la teneur en sucres solubles, ce qui pourrait être directement lié à la perte en eau provoquée par le stress hydrique, ce qui suggère qu'il n'y a pas eu d'ajustement osmotique chez cette espèce. En effet, en cas d'un ajustement osmotique, la teneur en sucre devrait augmenter d'une manière plus conséquente par rapport à la baisse de la TRE.

Le stress hydrique a provoqué une baisse significative du rendement sans pour autant influer significativement sur une composante particulière du rendement. USDA 6 s'est révélée être l'accession la plus adaptée au stress hydrique au stade floraison ; en effet, elle maintient une teneur relative en eau élevée et un rendement relativement élevé en cas de stress hydrique. Pour confirmer ces résultats, les 4 accessions étudiées doivent être analysées de nouveau dans des conditions contrôlées plus strictes, notamment en essayant de contrôler les températures pour éviter l'interaction des deux stresses.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Chaves M.M., Maroco J., Pereira J. (2003) : Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Funct. Plant Biol*. **30**, 239–264.

-Effatdoust, N., H. Kazemi, B. Pasban Eslam, M. Zaeifizadeh (2004) : Evaluation of drought stress in different spring safflower genotypes. Agriculture Congress 4-7 October. Malaysia, AP-72.

-Johnson, R.C., J.W. Bergman et C.R. Flynn. (1999) : Oil and meal characteristics of core and non-core safflower accessions from the USDA collection. *Genet. Res. Crop Evol*. **46**. 611–618.

-McCready, R.M., J. Guggolz, V. Silviera and H.S. Owens, (1950) : Determination of starch and amylose in vegetables. *Anal. Chem.*,**22**, 1156-1158.

-Mouhouche B., Guemraoui M. (2004) : Réhabilitation des grands périmètres d'irrigation en Algérie. In : IAV Hassan II editor. Actes du Séminaire Modernisation de l'Agriculture IrriguéeEuro – Méditerranéen.14 p.

-Nabloussi, A., El Fechtali M.et Lyagoubi S. (2008) : Agronomic and technological evaluation of a world safflower collection in Morocco conditions. Proceed. 7ème Conf. Internat. Carthame, Waga Waga, Australie

-Nikzad M., Behrouj M., Shahdadi M. (2013) : Evaluation of the Behavior of Spring Safflower Genotypes against Drought. Switzerland Research Park Journal,**102** (3). 165-169

-Omidi A.H. (2009) : Effect of Drought Stress at different Growth Stages on Seed Yield and some Agro-physiological Traits of Three Spring Safflower Cultivars. *Seed and Plant Production Journal*,**25** (1), 15-31

-Shao H.B., Liang Z.S., Shao M.A., et al. (2005) : Changes of some physiological and biochemical indices for soil water deficits among 10 wheat genotypes at seedling stage, *Colloids Surf. B: Biointerfaces***42** (2), 107–113.

-Tahmasebpour B, Aharizad S, Shakiba M, BabazadeBedostani A. (2011) : Safflower genotypes responses to water deficit. *Int. J. Agric. Sci*., **1** (2), 97-106.

-Weiss, E.A. (2000) : Safflower. In : E.A. Weiss editor, Oilseed Crops, Blackwell Sci. Ltd., Victoria (Australia), pp. 93-129

-Yau S.K. (2004) : Safflower agronomic characters, yield and economic revenue in comparison with other rain-fed crops in a high-elevation, semi-arid Mediterranean environment. *Exp. Agric.*, **40**, 453–462

-Yau SK. (2006) : Winter versus spring sowing of rain-fed safflower in a semi-arid, high-elevation Mediterranean environment. *Eur J. Agron*, **26**, 249-256.

Reference evapotranspiration assessment using artificial neural networks at mean different time steps

Belouz Khaled[1], Dechemi Noureddine[2]
[1]Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA), El-Harrach Algiers, Algeria
Email : majeaissa@yahoo.fr
[2]Laboratory Construction and Environment, Polytechnical National School, 10, avenue Hassen BADI, El Harrach, B.P. 16182, Alger, Algeria Email: ndechemi@yahoo.fr

SUMMARY
The principal objective of this study is to improve water resources management in agriculture, by conceiving and applying various models based on Artificial Neural Networks technique and selecting the best neural models that assess reference evapotranspiration accurately, on three time steps. The studied Artificial Neural Networks is of the type of Percetron multi-layers. They are used to model reference evapotranspiration (ETo) obtained via Penman-Monteith modified equation through FAO-56. Various combinations of daily, ten-day and monthly weather data (air temperature, relative humidity, wind speed and sunshine duration) are used, in order to establish the best combination of variables and choose the good neural structure (number of neurons on hidden layers and inputs).
Results obtained by ANN models were compared against those from the FAO-56 Penman–Monteith equation (PM). It was found that the ANN models gave better closeness to FAO-56 PM ETo at these three time steps. ANN is proved to be simple, effective to model ETo, with strong applicability and broadly-applicable prospect.
According to the results obtained, the ANN approach could be used in order to assess crop water requirement with a view to schedule irrigation.
Keywords: Artificial neural networks, reference evapotranspiration, model, performance assessment, errors, Penman-Monteith modified, irrigation.

RESUME
L’objectif principal de ce travail consiste à améliorer la gestion des ressources en eau en agriculture, par la conception et l'application de plusieurs modèles basés sur la technique de Réseaux de Neurones Artificiels (RNA) et la sélection des meilleurs modèles neuronaux qui estiment l'évapotranspiration de référence avec précision à différent pas de temps. Les réseaux de neurones étudiés sont de type Perceptron multicouches. Ils servent à modéliser l'évapotranspiration de référence (ETo) obtenue par application de l'équation de Penman-Monteith modifiée par la FAO56. Différentes combinaisons de données climatiques (journalières, décadaires et mensuelles) ; telles que la durée d’insolation, température de l'air, humidité relative et vitesse du vent, sont utilisées en entrée des réseaux de neurones artificiels afin d'en déterminer la meilleure combinaison tout en choisissant la meilleure structure neuronale (nombre de neurones cachées).
Les résultats d'ETo obtenus par les RNAs sont comparés avec ceux de la formule de Penman-Monteith modifiée. Nous avons démontré que les RNAs donnent des valeurs d'ETo très proches à celles enregistrées avec la formule de Penman-Monteithmodifiée FAO-56. Il est évident que les RNAs sont simples et efficaces pour modéliser l'ETo, avec une fiabilité remarquable et des perspectives prometteuses.Ces résultats révèlent que les RNAs peuvent êtres utilisés pour estimer les besoins en eau des cultures afin de piloter les irrigations.
Mots clés: Réseaux de neurones artificiels ; évapotranspiration de référence; modèle; critère de performance, erreurs, Penman-Monteith modifiée, irrigation.

1-INTRODUCTION

The plant isconstantlycrossed by a water flux, from soil to atmosphere, this process is called transpiration, however, soil losses none neglected amount of water by evaporation; the combination of these two processes is called evapotranspiration.
Evapotranspiration is an extremely complex phenomenon because it deals with several climatic, aerodynamic, energetic and biologic parameters. Accurate evapotranspiration assessment is a key element for crop water requirement estimation, networks design, crop and water balance simulation, irrigation scheduling, hydrological studies. Evapotranspiration is an important component of the

hydrological cycle, it affects agricultural water use, aridity/humidity conditions (Wu et al. 2006), and rainfall-runoff modelling.

Water supply is often a limiting factor, at the same time, to yield and its quality. Nowadays, water availability is the principal constraint against agriculture development in Algeria.

Sustainable water resource management in agriculture, particularly, irrigation scheduling needs a deep knowledge of crop water requirement (CWR) in order to put in adequacy resources and water supply, so that avoiding water stress situations. The assessment of CWR is computed via reference evapotranspiration and crop coefficient (Kc).

Food and agriculture organization (FAO) and international commission on irrigation and drainage (ICID) have proposed grass as the reference crop (Allen et al., 1994; Allen et al., 1998). Reference evapotranspiration is strongly nonlinear; it’s administered by various interdependent factors. Its assessment remains still subjected to the errors and its measurement by lysimeters is very tedious. This tool (lysimeter) is reserved to research centers, consequently, lysimetric data are rarely available.

Thatprocessis dependent on pedoclimatic and environmental conditions, the modelling constitute an appealing alternative in order to assess crop water requirement from reference evapotranspiration (ET0) at miscellaneous scale of space and time with a view to schedule irrigation basing on climatic variables as inputs.

In order to ensure a good accuracy of crop water requirements assessment, we have recourse to alternatives solutions. With the continuous increase in power of computers, expansion and development of data-processing technologies and soft computing, many tools were designed for researchers allowing to create their own models which are used for rational water resources management.

To build his model, a researcher dispose a lot of methods, ranging from numerical, mathematical, and statistical methods to techniques originating from artificial intelligence (Ackley et al. 1985), like expert systems (Bradshaw et al. 1991; Recknagel et al. 1994), genetic algorithms (D’Angelo et al. 1995) and artificial neural networks, i.e. ANN (Colasanti. 1991).

The design of classical models (mathematical, statistical and conceptual models) is relatively difficult taking into account the disparity between the rigidity of model versus the flexibility of process to be modeled and the necessity to know their mathematical formulation, the use of black-box models such as artificial neural networks represent an interesting choice and innovative solution according to their features; flexibility, generalization, parsimony and they doesn’t require knowledge of the mathematical formulation of the relationship linking among inputs and corresponding output.

Recently, excellent results have been obtained by application of ANNs in various fields particularly in hydrology. ANNs become today a powerful tool of modelling with surprising capabilities.

Kumar et al. (2002) demonstrated that a multilayer perceptron artificial neural network (MLP-ANN) trained with lysimetric data of ETo is more accurate than modified Penman-Monteith formula (FAO-56) for ETo assessment.

Sudheer et al. (2003) used a radial basic function neural network (RBF-NN), trained with lysimetric data of rice crop evapotranspiration, the results obtained demonstrated clearly the ability of artificial neural networks for crop evapotranspiration assessment, the performance criteria (Nash criteria in this case) oscillated between 98% to 99%.

The study carried out by Landeras et al. (2008) in Spain reveal that ANN trained with modified Penman-Monteith ETo give best results than empirical formulas which are calibrated by lineal regression.

Khoob AR. (2008) show the capability of artificial neural network multilayer perceptron (MLP-ANN) for ETo assessment using minimal, maximal temperature and pan evaporation values, this researcher conclude that ANNs are able to convert pan evaporation values to reference evapotranspiration values accurately.

Sungwon and Hungo (2008) study the potential of generalized regression neural networks models (GRNNM) combined with genetic algorithms (GA), based on lysimetric data of crop reference evapotranspiration, in this case is alfalfa, in Korea Republic, with a view to assess ETo, using pan evaporation values and classical climatic variables, the results obtained are promising with a performance criteria (RMSE) varied between 0.3 to 0.5 mm/day.

ANN are also used for hydrological forecasting, Trajkovic et al. (2003) forecast reference evapotranspiration for one day ahead $ETo_{(t+1)}$ from $ETo_{(t-11)}$ and $ET0_{(t-21)}$ with a good accuracy (t is the time in day).

Because of the multiplicity of the agents which are interested by water resources management (hydrologists, pedologists, agronomists etc), we made our study with different time steps; monthly, ten-day and daily time steps.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Input data

The meteorological data used in this study consisted of daily observations of maximum, mean and minimum air temperature (Tmax, Tmean and Tmin), daily mean relative humidity (RHmean), wind speed (U_2) and sunshine duration (hours). All these parameters were adopted as input variables for the artificial neural networks (ANNs) at the daily time step. However there is no lysimeter in weather station so daily reference evapotranspiration data were produced by the Penman–Monteith method, which is proposed as the sole standard method for the computation of reference evapotranspiration (Allen et al. 1998).

For ten-day and monthly time step, mean ten-day or monthly weather data are used to compute the ten-day or monthly values for the reference evapotranspiration.

2.2. Artificial Neural Networks in a nutshell

Artificial neural networks are, as their name indicates, computational networks which attempt to simulate, in a gross manner, the networks of nerve cell (neurons) of the biological (human or animal) central nervous system.

Inspirited from neurobiology, artificial neural networks (ANNs) are effective tools to model nonlinear systems. According to Sudheer et al. (2003), the main advantage of ANN methods over conventional methods is the ability for solving nonlinear problems, which are difficult to formalize, and this is made by mean the “learning” (training) process from a data set.

The most common architecture is composed of: the input layer, where the data are introduced into the ANN, the hidden layer(s) where the data are processed, and the output layer where the results of given inputs are obtained. This type of ANN is called multilayer perceptron (MLP**)** (Fig. 1).

Artificial neural networks are trained to perform complex functions by adjusting the connection weights between neurons. Commonly ANNs are adjusted or trained, so that a particular input leads to specific target outputs (Rumelhart et al. 1986). The connection weights are adjusted based on a comparison of the input examples and the target outputs. The objective is to minimize the difference between the input and target output values using training algorithms. Because the initial weights are randomly assigned to the connections, the difference between the predicted and desired output values can be large. Learning therefore involves iteratively adjusting the connection weights to minimize these differences. The most commonly used training algorithm in ANNs is the backpropagation method (Tsoukalas and Uhrig 1997).

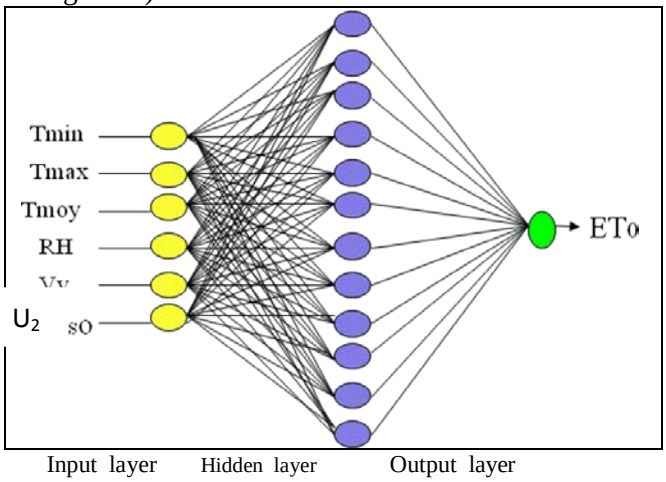


Figure 1. ANN architecture for modelling ETo

2.3. Performance criteria

The performance of ANN models is assessed by the satisfying the defined objective function of the model. ETo estimates from ANN methods were compared with the PM method using simple error analysis and linear regression. The coefficient of determination (R^2) and root mean square error (RMSE) were used to evaluate the goodness-of-fit of an ANN model.

2.3.1. Coefficient of determination (R^2)

$$R^2 = \left[\frac{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(Y_{obs} - \overline{Y}_{obs}\right)\left(Y_{sim} - \overline{Y}_{sim}\right)}{\sigma_{obs}.\sigma_{sim}} \right]^2$$

Where R^2 is the coefficient of determination; Y_{iobs} and Y_{sim} are the values of observed and simulated ETo, respectively; $\overline{Y}_{obs}$ and $\overline{Y}_{sim}$ are the mean value of observed and simulated values of ETo, N is the number of observations.

A coefficient of determination approximates to the unit means that the designed model is very effective and vice versa.

2.3.2. Root Mean Square Error (RMSE)

The RMSE is a measure of the residual standard deviation; it should be as small as possible. A perfect match between the calculated and the observed values would yield RMSE=0.

The RMSE is an indicator of the ability of model, a low RMSE values indicate that the model has a good performance, and vice-versa (Sungwon and Hungo, 2008).

The Root Mean Square Error (RMSE) was used as a measure of goodness of fit of model, it can be calculated as follow:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=}^{N}\left(Y_{obs} - Y_{sim}\right)^2}{N}}$$

Where RMSE is the root mean square error;

Y_{obs} and Y_{sim} are the values of observed and simulated ETo, respectively.

N is the number of observations (samples).

2.4. Implementation of artificial neural networks (ANNs): period 1995–2004

In this study, a ANN of the multilayer perceptron (MLP) type with one-input layer, hidden layer and output layer was used. The transfer function in the networks was logsigmoid. Networks with a single hidden logsigmoid layer are by far the most frequently used network topology, probably because they are capable of approximating any function with a finite number of discontinuities (Cybenko 1989), as long as sufficient training is performed. The software used to implement all ANNs is Matlab v7.4, precisely, artificial neural networks toolbox built-in Matlab.

A backpropagation (BP) algorithm was employed to train our MLP neural networks. Levenberg–Marquardt (LM), a second-order nonlinear optimization technique, was chosen from the various BP training algorithms available for use in this study. The LM algorithm is widely applied to many different domains and is faster and produces better results than other training methods. The number of hidden neurons is determined by trial and error, step-by-step, one-by-one method using 2, 3…..30 neurons within hidden layer for each neural model (ANN), and after each training run, RMSE and R^2 were calculated using only the test data set to find the optimal number of hidden neurons (Table.2).

Table 1 represent a summary of climatic data combinations used to implement ANNs developed. It’s interesting to indicate that we have used the indices (d), (dec) and (m) to differentiate among daily, ten-day and monthly time steps respectively of each neural model, par example ANN d1, ANN dec6 and ANN m8 (Tables 2, 3 and 4).

Table 1. Summary of inputs combination used for implementations of ANNs

Inputs	ANN1	ANN2	ANN3	ANN4	ANN5	ANN6	ANN7	ANN8	ANN9	ANN10
$\mathbf{T_{max}}$	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
$\mathbf{T_{min}}$	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
$\mathbf{T_{mean}}$		●			●	●	●	●	●	●
Ins					●		●	●		●
HR			●			●	●		●	●
$\mathbf{U_2}$				●				●	●	●

Note: Tmean (mean temperature), Tmax (maximum temperature), Tmin (minimum temperature), Ins (sunshine duration), HR (relative humidity), U2 (wind speed at 2 m height).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Daily time step

The best architecture obtained for each ANNs suggested that a single hidden layer is sufficient to model the ET process (Table 2).

It can be seen from Table 2 that the ANN_{d10} (6-12-1) model outperforms all other models in terms of various performance criteria, therefore, R^2=0.901 and RMSE=0.47 mm.d^{-1} in validation phase. The ANN_{d8} (5-5-1) is ranked as the second best. This was expected, as it considered all values for all the variables that influence on reference evapotranspiration excluding relative humidity and the performances criteria are 0.877 for R^2 and 0.54 mm.d^{-1} for RMSE. The comparison of the models that used minimum data, i.e., ANN_{d1}… ANN_{d7} and the ANN_{d8}model, reveals that the results are acceptable for ANN_{d8} solely, the other models show a poor results.

Table 2. Performance criteria of ANNs conceived and their inputs and architecture obtained at daily time steps.

Neural model	Input combination	Architecture	R^2 training	R^2 validation	RMSE training	RMSEval idation
ANN_{d1}	Tmax and Tmin	2-3-1	0.636	0.6600.880.93		
ANN_{d2}	Tmax, Tmin and Tmoy	3-4-1	0.635	0.659	0.88	0.93
ANN_{d3}	Tmax, Tmin and HR	3-6-1	0.634	0.664	0.88	0.93
ANN_{d4}	Tmax, Tmin, Ins	3-6-1	0.783	0.786	0.71	0.71
ANN_{d5}	Tmax, Tmin, Tmoy, Ins	4-13-1	0.789	0.784	0.70	0.70
ANN_{d6}	Tmax, Tmin, Tmoy and U_2	4-7-1	0.739	0.724	0.78	0.80
ANN_{d7}	Tmax, Tmin, Tmoy, HR, Ins	5-13-1	0.845	0.813	0.60	0.67
ANN_{d8}	Tmax, Tmin, Tmoy, U_2, Ins	5-5-1	*0.874*	*0.877*	*0.54*	*0.54*
ANN_{d9}	Tmax, Tmin, Tmoy, U_2, HR	5-4-1	0.820	0.797	0.65	0.69
ANN_{d10}	Tmax, Tmin, Tmoy, HR, U_2, Ins	6-12-1	0.920	0.901	0.43	0.47

Note: RMSE (mm.day^{-1})

It was found that using only the air temperatures input gives the worse estimates (ANN_{d1} and ANN_{d2}), whereas, the performances criteria varies from 0.65 to 0.66 for R^2 and RMSE=0.93 mm.d^{-1}. With daily time step we have selected two neural models in order to estimate ETo:

ANNd10 (6-12-1): we employ this neural model wherein all climatic variables are available to compute ETo. ANNd8 (5-5-1): it’s interesting to use that ANN if relative humidity values are missing. The performances of neural models selected are represented in Figure 2 in the form of hydrograph and scatter plot.

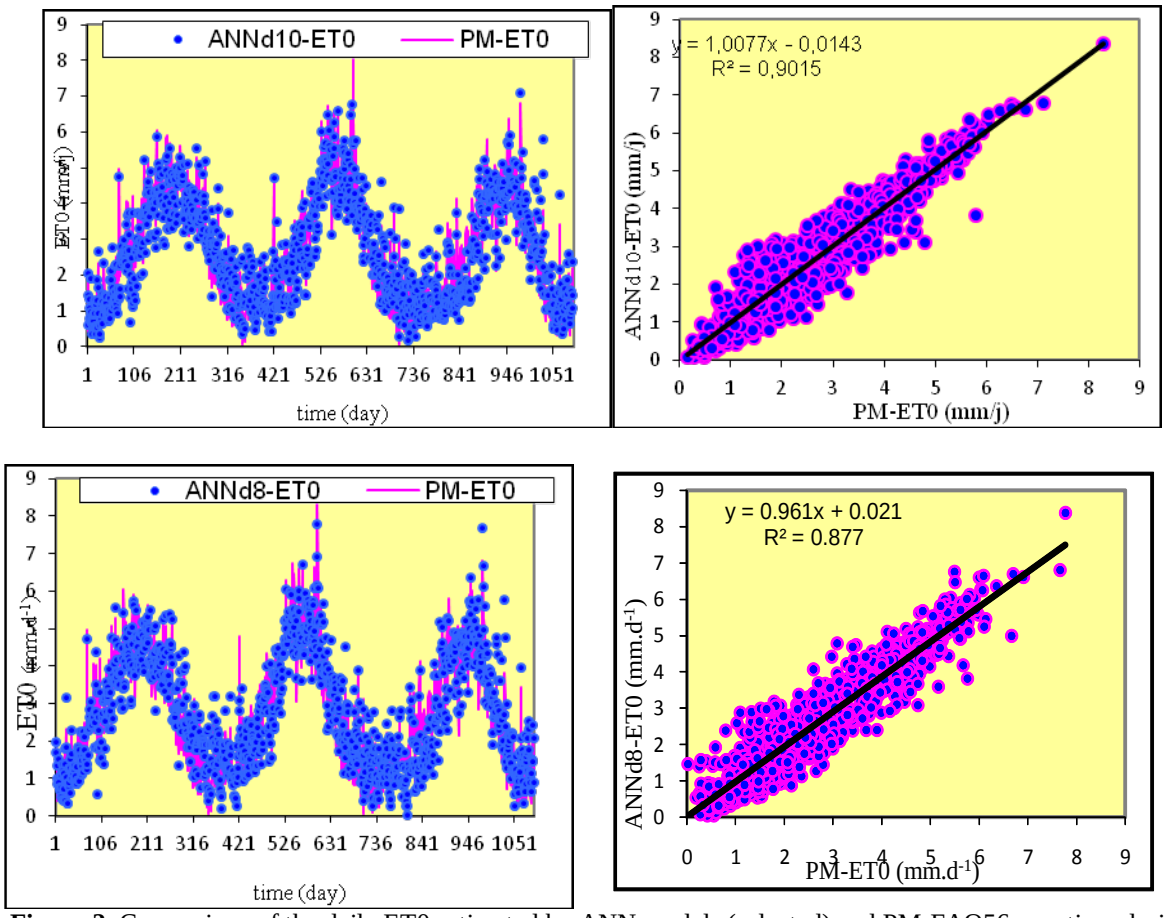


Figure 2. Comparison of the daily ET0 estimated by ANN models (selected) and PM-FAO56 equation, during the validation period

3.2. Ten-day time step

A keen look to table 3 shows that the neural models improve their performance with increasing number of inputs. we have registered the best result with ANNdec10(6-7-1) appealing to six inputs affecting ET0(mean temperature, maximum temperature, minimum temperature, sunshine durations, relative humidity, wind speed at 2 m height), then the performance criteria registered with this model are 0.912 and 4.5 mm/ten-day for $R^2$and RMSE respectively.

Both ANN_{7dec} (5-5-1) and ANN_{8dec} (5-12-1) appealing to sunshine duration and temperatures as common inputs performed better than the other ANNs in estimating the PM-ETo except for ANN_{dec10} (6-12-1). The corresponding performance criterion (RMSE) for the validation periods (01 January 2002 to 31 December 2004) are 5.3 mm/ten-day and 5.8 mm/ ten-day for ANN_{dec7}(5-5-1) and ANN_{dec8} (5-12-1), respectively.

Table 3. Performance criteria of ANNs conceived and their inputs and architecture obtained at ten-day time steps.

Neural model	Input combination	Architecture	R^2 training	R^2 validation	RMSE training	RMSEvalidation
ANN_{dec1}	Tmax and Tmin	2-5-1	0.725	0.762	6.8	7.1
ANN_{dec2}	Tmax, Tmin and Tmoy	3-7-1	0.727	0.759	6.8	7.2
ANN_{dec3}	Tmax, Tmin and HR	3-6-1	0.721	0.760	6.9	7.5
ANN_{dec4}	Tmax, Tmin, Ins	3-3-1	0.835	0.845	5.3	7.1
ANN_{dec5}	Tmax, Tmin, Tmoy, Ins	4-8-1	0.876	0.842	4.6	5.8
ANN_{dec6}	Tmax, Tmin, Tmoy and U_2	4-13-1	0.735	0.778	6.7	6.9
ANN_{dec7}	Tmax, Tmin, Tmoy, HR, Ins	5-12-1	0.878	0.887	4.5	5.8
ANN_{dec8}	Tmax, Tmin, Tmoy, U_2, Ins	5-5-1	0.908	0.890	3.9	5.3
ANN_{dec9}	Tmax, Tmin, Tmoy, U_2, HR	5-6-1	0.840	0.808	5.2	7.5
ANN_{dec10}	Tmax, Tmin, Tmoy, HR, U_2, Ins	6-7-1	0.896	0.912	4.2	4.5

Note: RMSE ($mm.ten\text{-}day^{-1}$)

The poor performances of ANNs were registered with the other neural models (ANNdec1, ANNdec2, ANNdec3, ANNdec4, ANNdec5, $ANN_{dec6,}$ and ANN_{dec9}),accordinglythe performances criteria vary between 0.75 to 0.84 for R^2 and 5.8 mm.decade^{-1} to 7.5 mm/ten-day for RMSE in validation phase.
On ten-day time step we have selected three ANN models:
ANNdec10(6-12-1): we use this model if all climatic parameters are available (mean temperature, maximum temperature, minimum temperature, sunshine durations, relative humidity, wind speed at 2 m height). ANN_{dec7} (5-5-1): it’s important to appeal to this model when relative humidity values are missing.ANN_{dec8} (5-12-1): we employ that neural model when wind speed values aren’t available in meteorological station. The evapotranspiration estimates of neural models selected are represented in **Fig. 3** in form of hydrograph and scatterplot.

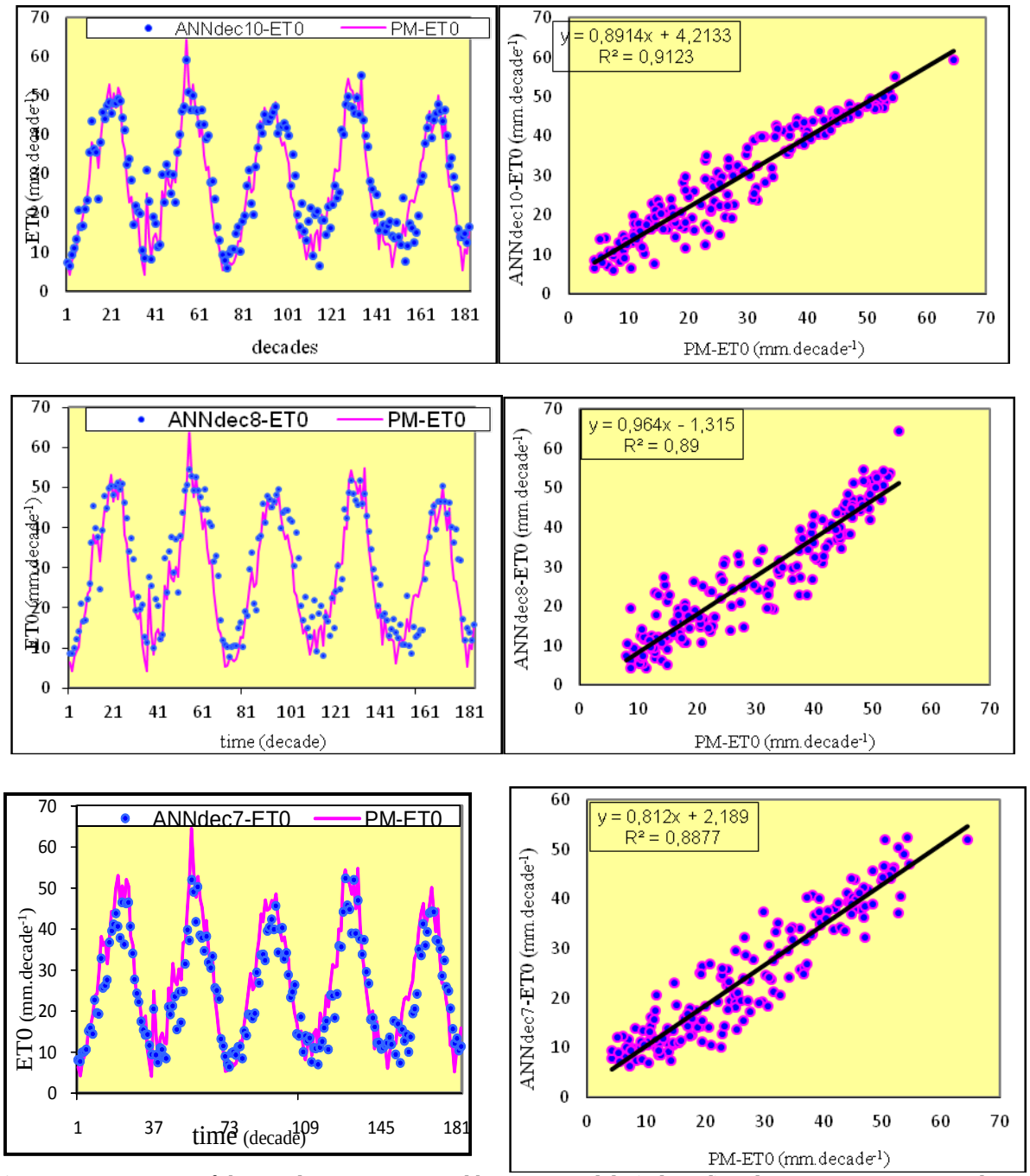


Figure 3. Comparison of the ten-day ET0 estimated by ANN models (selected) and PM-FAO56 equation, during the validation.

3.3. Monthly time step

PM-FAO56 and ANNs methods were used to estimate monthly ETo (mm.month^{-1}). Comparison between these methods is shown in figure 4, while the summary of statistic results is presented in table 4.

Table 4. Performance criteria of ANNs conceived and their inputs and architecture obtained at monthly time steps

Neural model	Input combination	Architecture	R^2 training	R^2 validation	RMSE training	RMSE validation
ANN_{m1}	Tmax and Tmin	2-3-1	0.728	0.732	20.5	20.3
ANN_{m2}	Tmax, Tmin and Tmoy	3-5-1	0.772	0.732	18.8	24.0
ANN_{m3}	Tmax, Tmin and HR	3-7-1	0.821	0.867	16.6	16.0
ANN_{m4}	Tmax, Tmin, Ins	3-7-1	0.885	0.801	13.4	28.4
ANN_{m5}	Tmax, Tmin, Tmoy, Ins	4-11-1	0.882	<u>0.894</u>	13.5	<u>14.8</u>
ANN_{m6}	Tmax, Tmin, Tmoy and U_2	4-12-1	0.789	0.797	18.1	19.7
ANN_{m7}	Tmax, Tmin, Tmoy, HR, Ins	5-21-1	0.930	<u>0.914</u>	10.4	<u>15.0</u>
ANN_{m8}	Tmax, Tmin, Tmoy, U_2, Ins	5-12-1	0.924	<u>0.907</u>	10.8	15.2
ANN_{m9}	Tmax, Tmin, Tmoy, U_2, HR	5-12-1	0.811	0.823	17.1	18.8
ANN_{m10}	Tmax, Tmin, Tmoy, HR, U_2, Ins	6-6-1	0.912	<u>0.910</u>	11.6	<u>14.0</u>

Note: RMSE (mm.month^{-1})

The results indicated that, agreement between PM-ETo and ANN_m-ETo was good for the selected (underlined) neural models but there was light difference in performance among neural models selected (ANN_{m5}, ANN_{m7}, ANN_{m8}, ANN_{m10}), so that values of coefficient of determination (R^2) vary from 0.894to 0.914 and the root mean square error (RMSE) values shift from 14.0 mm.month^{-1}to 15.2 mm.month^{-1}. The most complex architecture of any of the implemented ANNs was the architecture of ANN_{m9} (5-21-1) with five inputs and twenty one neurons in the hidden layer.

The other neural models (ANN_{m1}, ANN_{m2}, ANN_{m3}, ANN_{m4}, ANN_{m6}, and ANN_{m9}) give a poor results (Table.4).

For monthly time step, neural models selected are as following:

ANN_{m5} (4-11-1): we use this neural model when relative humidity and wind speed values are missing; ANN_{m7} (5-21-1) : we appeal to this ANN if wind speed values are lacking; ANN_{m8} (5-12-1) : serve to estimate monthly ET0 whenrelative humidity values are absents and ANN_{m10} (6-6-1) : we employ this model if all climatic parameters are available (mean temperature, maximum temperature, minimum temperature, sunshine duration, relative humidity, wind speed at 2 m height).

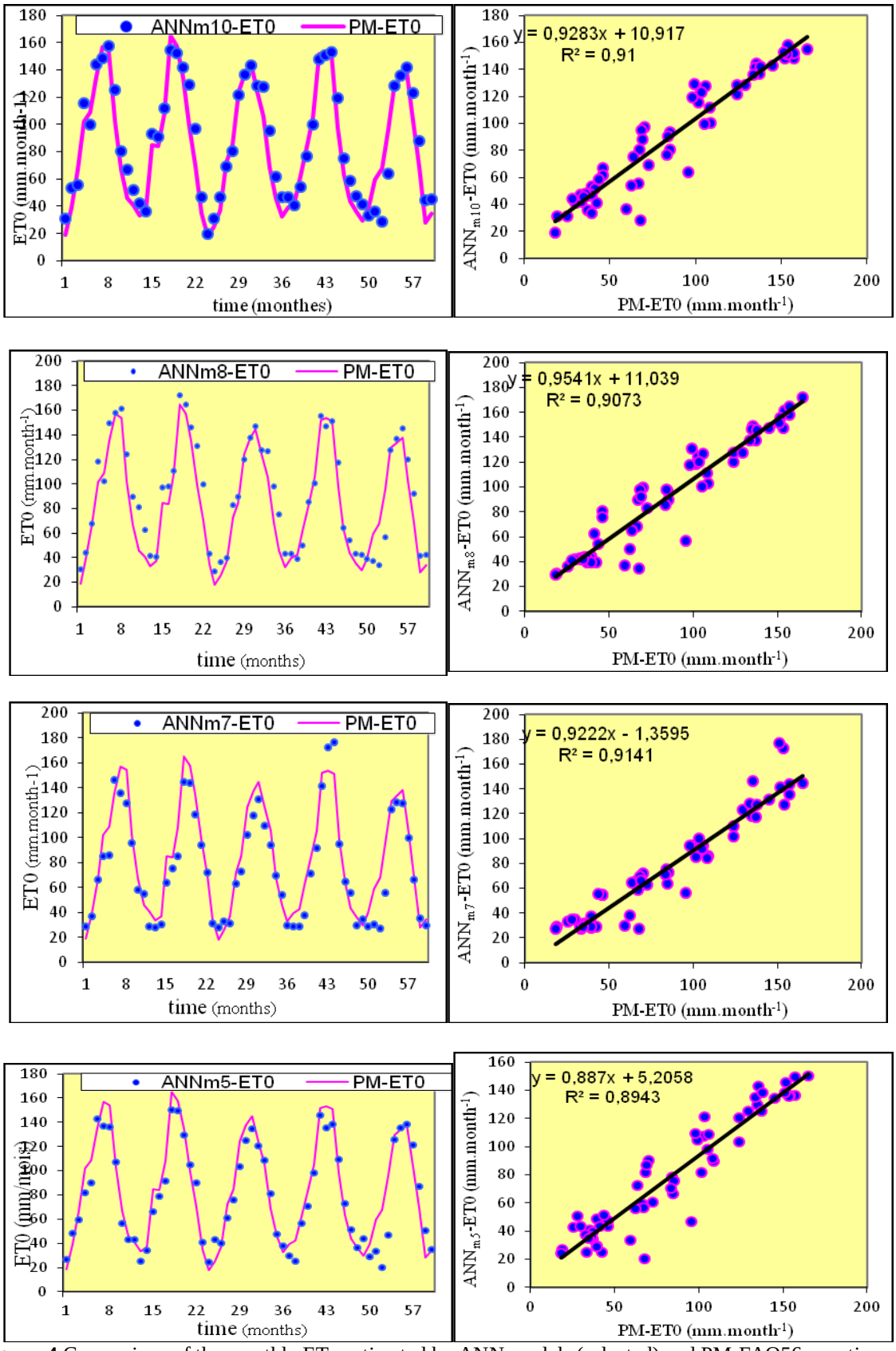


Fig ure 4. Comparison of the monthly ETo estimated by ANN models (selected) and PM-FAO56 equation, during the validation.

4. CONCLUSION

The potential of the MLP-ANN model for estimation of reference evapotranspiration using climatic variables has been illustrated in this paper. The study demonstrated that modelling of daily, ten-day and monthly reference evapotranspiration is possible through the use of ANN technique. The best

ANN architectures allowing ETo estimation were found to be ANN_{d10}(6-12-1) and ANN_{d8}(5-5-1) respectively, for daily time step.
For ten-day time step, neural networks selected which allow ETo computation are ANN_{d10}(6-12-1), ANN_{dec8} (5-12-1) and ANN_{dec7} (5-5-1).
For monthly time step, When temperatures (min, max, mean) and sunshine duration, relative humidity and wind speed values are availables, ANN_{m10} (6-6-1) is the recommended model.
In the case of relative humidity value availability, with sunshine duration and temperatures values, ANN_{m7} (5-21-1)should be applied.In situations of the presence of sunshine duration and temperatures (min, max, mean): if neither wind speed nor relative humidity data are available, ANN_{m5} (4-11-1)should be applied, but if wind speed values are available, ANN_{m8} (5-12-1)is the best model, and, in the case of relative humidity value availability, ANN_{9m}(5-12-1) should be applied.
The ANN models whose inputs are the air temperatures (min, max and mean), solar radiation, wind speed, and relative humidity performed the best among the input combinations tried in the study. This indicates that all these variables are needed for better reference evapotranspiration assessment. From practical point of view ANN models selected that use minimum data as input can be considered suitable to serve as a tool to estimate the ETo in these three time steps. Secondly, locally trained ANNs can be used to estimate missing ETo data. It was found that using only the air temperature input gives poor results.
The PML-ANN neural network (and artificial neural network techniques in general) offers significant advantages over conventional methods in predicting reference evapotranspiration because it is not necessary to specify the form of the mathematical model before fitting the data. This is important since many agronomic system processes have multiple factors that change with time. As a result it is often difficult to find an appropriate mathematical model to describe these processes. While this particular neural network will have to be tested against other models and with data sets from widely varying climatic and geographical regions, we feel this neural network is a promising technique to help in understanding processes in complicated and dynamic agronomic systems, but it seems that the principal problem is to obtain data in quantity and quality allowing ANN fitting.
In situations of the presence of lysimetric data of ETo, we can conceive neural models permiting to evaluate the reference evapotranspiration via climatic parameters with a precision higher than that recorded by means of the formula of Penman-Monteith modified by FAO56 (Kumar et al. 2002), then there will be a better assessment of crop water requirements (an estimate very close to reality).

REFERENCES

-Ackley DH, Hinton G E, Sejnowski TJ. (1985) : A learning algorithm for Boltzmann machines. Cogn. Sci. 9, 147–169.
-Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. (1998) : Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper no. 56.
-Allen RG, Smith M, Pereira LS. (1994) : An update for the definition of reference evapotranspiration. ICID Bull. 43, 1–34.
-Bradshaw, J.A., Carden, K.J., Riordan, D., (1991) : Ecological Applications Using a Novel Expert System Shell. Comp. Appl. Biosci. 7, 79–83.
-Colasanti RL. (1991) : Discussions of the possible use of neural network algorithms in ecological modelling. Binary 3, 13–15.
-Cybenko G. (1989) : Approximation by superposition of a sigmoidal function. Math Control Signals Syst, 2, 303–314.
-D’Angelo DJ, Howard LM, Meyer JL, Gregory SV, Ashkenas LR. (1995) : Ecological use for genetic algorithms: predicting fish distributions in complex physical habitats. Can. J. Fish. Aquat. Sc, 52, 1893–1908.
-Golikov SY, Sakuramoto K, Kitahara T, Harada Y. (1995) : Length-Frequency Analysis Using the Genetic Algorithms. Fisheries Sci, 61, 37–42.
-Khoob A. R. (2008) : Artificial neural network estimation of reference evapotranspiration from pan evaporation in a semi-arid environment. *Irrig Sci, 27*, 35-39.
-Kumar M, Sanghuwashi R, Singh W, Wallender W, Pruitt WO. (2002) : Estimating evapotranspiration using artificial neural network. J Irrg Drain Eng, 128, 224–233.

-Landeras G, Barredo OA, Lopez JJ. (2008) : Comparison of artificial neural network models and empirical and semi-empirical equations for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque Country (Northern Spain). *agricultural water management*, 95, 553 – 565.
-Recknagel F, Petzoldt T, Jaeke O, Krusche F. (1994) : Hybrid Expert-System Delaqua-A Toolkit for Water-Quality Control of Lakes and Reservoirs. Ecol. Model, 71, 17–36.
-Rumelhart DE, Hinton GE, Williams RJ. (1986) : Learning representations by back-propagating errors. Nature, 323, 533–536.
-Sudheer KP, Gosain AK, Ramasastri KS. (2003) : Estimating actual evapotranspiration from limited climatic data using neural computing technique. J Irrig Drain Eng, 29, 214–218.
-Sungwon K, Hungo SK. (2008) : Neural networks and genetic algorithm approach for nonlinear evaporation and evapotranspiration modelling. *Journal of Hydrology, 351, 299– 317.*
-Trajkovic S, Todorovic B, Stankovic M. (2003) : Forecasting of reference evapotranspiration by artificial neural networks. J Irrig Drain Eng, 129, 454–457.
-Tsoukalas LH, Uhrig RE. (1997) : Fuzzy and Neural Approaches in Engineering. John Wiley & Sons Inc., NY, USA.
-Wu S H, Yin YH, Zheng D, Yang QY. (2006) : Moisture conditions and climate trends in China during the period 1971–2000. Int. J. Climatol, 26, 193–206.

Etude comparative de la réponse au stress salin sur le plan germinatif de deux espèces végétales (*Atriplex halimus* L. et *Hordeum vulgare* L.)

[1]Khemies Fatima, [2]Abdelali Okba Abdelhafid, [3] Benabadji Noury
[1,2]Département des sciences de l’agronomie et des forêts. Université de Tlemcen. khemiesfati@yahoo.fr
[3]Professeur. Laboratoire d’Ecologie Végétale. Département de Biologie. Université de Tlemcen.

RESUME
En Algérie, la sécheresse a provoqué une remontée des sels vers la rhizosphère rencontrée particulièrement dans les zones semi-arides et arides. L’identification d’espèces ou de variétés tolérantes au sel permettrait à terme d’améliorer la production de ces zones. En outre, la mise au point de modèles d’associations végétales (par exemple halophytes-céréales) permettrait non seulement de pérenniser la couverture végétale de ces zones à réhabiliter, mais aussi d’assurer la sécurité alimentaire grâce à de plus grandes disponibilités des productions.
L’objectif ce travail est donc de caractériser l’effet du stress salin sur la germination de l’orge en comparaison avec l’Atriplex considérée comme étant l’espèce adéquate dans la mise en valeur des terres dégradées (sols pauvres, sols salés, sebkha, etc.) et de tester l’intérêt de l’orge dans la mise en valeur agricole des terres ou parcours à Atriplex ou à chénopodiacées en général.
Mots clés : *Atriplex halimus*, comparaison, germination, *Hordeum vulgare*, salinité.

SUMMARY
In Algeria, the drought has causeda riseofsaltstothe root zoneencounteredparticularly in semi-arid and arid areas. The identification of species or salt-tolerant varieties would ultimately improve the production of these areas. In addition, the development of models of plant associations (eg : halophytes-cereals) would not only perpetuate the vegetation cover in these areas, but also to ensure food security through greater availability of production. The objective of this work is to characterize the effect of salt stress on germination of barley compared with Atriplex considered as the adequate species in the development of degraded lands (poor soils, saline soils, sebkha, etc.) and to test the interest of barley in the agricultural development of land of Atriplex or Chenopodiaceae in general.
Key words:*Atriplex halimus*, comparison, germination, *Hordeum vulgare*, salinity.

1. INTRODUCTION
Les zones arides et semi-arides couvrent près des 2/5 des terres cultivables du monde (Le Houérou, 1989, 1995 ; Bounaqba *et al*., 1996) et plus des ¾ de la superficie de l’Algérie (Djebaili, 1984). Dans ces zones, les ressources en eau disponibles sont le plus souvent de qualité médiocre. La croissance de la population et par conséquent, l’augmentation des besoins alimentaires impose la valorisation agronomique (agricole, pastorale et sylvicole) de ces régions. Les recours à l’irrigation en utilisant des eaux saumâtres est alors devenue une activité obligée. La résistance ou même la tolérance à l’aridité et à la présence de sel sont des qualités largement recherchées afin d’en élargir la culture aux régions difficiles.
La mise au point de modèles d’associations végétales (par exemple halophytes - légumineuses ou halophytes – céréales) permettraient non seulement de pérenniser la couverture végétale de ces zones à réhabiliter, mais aussi d’assurer la sécurité alimentaire grâce à de plus grandes disponibilités des productions (récoltes). Cela explique le choix et l’intérêt que nous portons, dans notre étude, sur l’association *Atriplexhalimus* L. (famille des Chénopodiacées) et *Hordeumvulgare* L. (famille des Poacées ou Graminées). Nous nous proposons dans ce travail de comparer la résistance de *Hodeum vulgare* vis-à-vis de la salinité à celle de *Atriplex halimus* qui est une halophyte. La comparaison portera sur le comportement germinatif de ces deux espèces soumises à des conditions de stress salin.

2. MATERIELS ET METHODES
Dans le but d’étudier l’influence du sel sur la germination des semences de *Hordeum vulagre* et *Atriplex halimus*, différentes doses d’une solution saline ont été testées. Il s’agit des concentrations : 0, 100, 200, 300, 400, 500 et 600 meq/l, dont la solution saline est préparée en mélangeant deux sels différents à savoir le chlorure de sodium (NaCl) et le chlorure de calcium ($CaCl_2$) à volume égale (V

NaCl = V $CaCl_2$) préparés dans un litre d’eau distillée puis on a préparé les six concentrations employées. Le tableau ci-dessous nous montre la composition de la solution saline.

Tableau 1. Composition de la solution saline

	Concentrations					
Meq/L	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**600**
NaCl (mM)	100	200	300	400	500	600
g/l	5.84	11.68	17.53	23.37	29.22	35.06
$CaCl_2$ (Mm)	100	200	300	400	500	600
g/l	5.54	11.08	16.64	22.19	27.74	33.29

Les graines choisies selon la taille et l’état sanitaire, stérilisées durant quelques minutes dans une solution à 70% d’hypochlorite de calcium et rincées deux fois à l’eau distillée stérile. Les graines sont ensuite mises à germer dans des boites de pétri de 9cm de diamètre et 1.3cm d’épaisseur, dont le fond est tapissé de coton hydrophile imbibé de solution de différentes concentrations. Cette imbibition est renouvelée à chaque fois que cela est nécessaire.
Chaque essai porte sur 50 graines, soit 5 répétitions de 10 graines par boite de pétri pour chaque espèce. La conservation des boites s’effectue dans les conditions climatiques du laboratoire, la température variait entre 20 et 25°C.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Les graines d’Hordeum vulgare

Les observations sur la germination des graines d’orge en boîte de pétri durant 7 jours relèvent des différences de comportement de ces graines soumises au stress salin (NaCl + $CaCl_2$) à différentes concentrations.
Le pourcentage de germination d’*Hordeum vulgare* du témoin ainsi que les traitements à 100 et 200 meq/l est assez élevé avec des taux compris entre 82 et 88%. Nous remarquons que la germination des graines est affectée par la salinité à 300 meq/l puisqu’on a enregistré une diminution de germination de 10% environ.
La germination accuse un retard de 2 jours pour le traitement à 500 meq/L. Ce ralentissement proviendrait de l’effet osmotique. La solution saline à ces concentrations ne permet pas l’entrée de l’eau dans la graine (Côme, 1970). A ce niveau élevé de salinité le taux de germination est très faible et varie entre 18 et 4%.
Sous le milieu enrichi à 600 meq/l aucune germination ne se manifeste durant toute l’expérimentation. En revanche, l’action toxique du NaCl et $CaCl_2$ (à 600 meq/l) conduisent à l’inhibition de la germination.
Donc, les graines de *Hordeum vulgare* (variété Saida) présentent une grande habilité à germer sous des conditions fortement salines puisque le pourcentage de germination est supérieur à 72% à des niveaux de salinité allant de 0 à 300 meq/l. A partir de ce seuil il y a une diminution qui se traduit plus par un retard que par une inhibition. Ce taux de germination élevé pourrait être retenu comme critère de sélection des variétés tolérantes aux sels (Piri *et al*., 1994 ; Sibi & Fakiri, 2000).

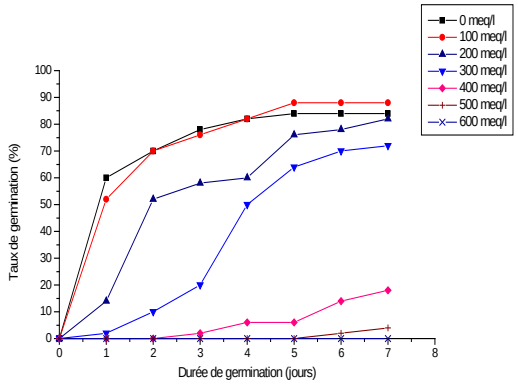


Figure 1. Effet des doses croissantes de sel sur le pourcentage de germination des graines de *Hordeum vulgare*

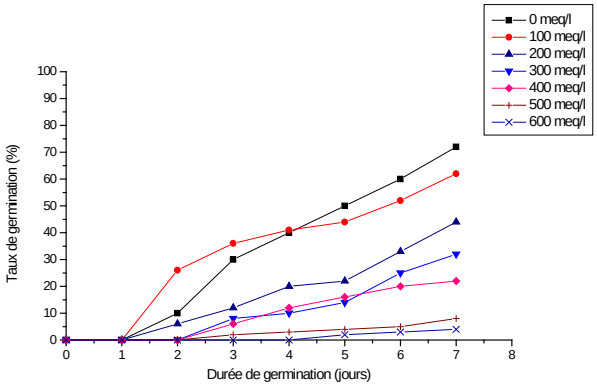


Figure 2. Effet des doses croissantes de sel sur le pourcentage de germination des graines *d’Atriplex halimus*

Les graines d’Atriplex halimus

Pour les traitements 100, 200 et 300 meq/l, on enregistre une diminution respective de la germination de 10, 30 et 40% environ par rapport au témoin. Aux traitements 400, 500 et 600 meq/l, la germination est affectée sérieusement ou l’on note des taux de germination oscillant entre 4 et 22 %. La germination accuse un retard de deux jours, pour les traitements 300, 400 et 500 meq/l et de quatre jours pour le traitement 600 meq/l. Donc la salinité des eaux et celles des sols entraine non seulement une inhibition de la germination mais également un retard très net dans le processus.

Atriplex halimus supporte des concentrations de salinité voisines de celle de l’eau de mer (Ben Ahmed *et al*., 1996). Cela concorde avec nos résultats où des traitements élevés de salinité 500 meq/l et 600 meq/l, entrainant un retard de germination, et non pas une inhibition complète. Il faudra des concentrations beaucoup plus élevées pour observer réellement une inhibition et un retard de la germination des graines de l’*Atriplex halimus*.

L’étape finale de germination ou inaptitude des graines à germer semblent signifier qu’avec l’augmentation de la concentration en sel, l’effet de toxicité domine suite à l’accumulation du sodium dans l’embryon en installant une inhibition osmotique (Guerrier, 1983).

On peut dire que les atriplex cultivés supportent des salures élevée ce fait là bien souligné par Belkhoudja & Bidai (2004), ce qui permet de les exploiter sur des sols et des eaux généralement considérés parfois comme inaptes à l’agriculture.

Étude comparative des résultats des deux espèces (Hordeum vulgare et Atriplex halimus)

Les résultats de la germination en conditions de salinité durant 7 jours montrent des différences de comportement des graines des deux espèces *Atriplex halimus* et *Hordeum vulgare.* Ils permettent les commentaires suivants :

- Pour les deux espèces, la germination des graines est atténuée et retardée lorsque la concentration en sel augmente.
- La germination des graines d’*Hordeum vulgare* semble être précoce en présence de sel et sous les traitements 100, 200 et 300 meq/l de la solution saline, puisque les premières graines germent dés le premier jour de semis. Notons aussi que les traitements 400 et 500 meq/l retardent la germination des graines, tandis que le traitement à 600 meq/l inhibe totalement leur germination puisqu’on en observe aucune.
- Les graines d’*Atriplex halimus* quant à elles, ne réagissent qu’au deuxième jour pour le témoin et les traitements 100 et 200 meq/l, à partir du troisième jour en ce qui concerne les traitements 300, 400 et 500 meq/l, et jusqu’au quatrième jour pour le traitement 600 meq/l.
- Les taux finaux de germination les plus élevés sont enregistrés pour les graines d’*Hordeum vulgare*, ils sont proches entre les graines d’*Hordeum vulgare* témoins (84%) et les graines traitées à des concentrations de 100, 200 et 300 meq/l de la solution saline (88, 82 et 70 %). En revanche les taux de germination des graines d’*Atriplex halimus* soumises à ces trois conditions de stress sont réduits (62,

44 et 32 %) comparativement au témoin (72 %). En d’autre terme, les graines témoins (non traitées) germent mieux que celles soumises au stress salin. Cela permet–il de penser que l’*Atriplex halimus* n’est pas une halophyte stricte mais qu’elle s’adapte plutôt aux milieux salés.

- Lorsque les concentrations augmentent (400 et 500 meq/l) les graines d’*Hordeum vulgare* deviennent plus sensibles au sel (18 et 4% de germination) que celles d’*Atriplex halimus* (22 et 8% de germination)
- Enfin, il convient d’indiquer que l’eau de mer (c’est-à-dire le traitement 600 meq/l de sel) retarde et réduit la germination des graines d’*Atriplex halimus* tandis qu’elle inhibe complètement la germination des graines d’*Hordeum vulgare.*

4. CONCLUSION

Au terme de cette modeste contribution à l’étude comparative sur le plan germinatif d’*Atriplex halimus* L. et *Hordeum vulgare* L., il convient de récapituler les principaux résultats obtenus, les conclusions qu’elle implique ainsi que les perspectives d’avenir qui s’en dégagent. Ces deux espèces se montrent bien adaptées aux régions arides et semi-arides. La comparaison des germinations sous stress salin de *Hordeumvulgare* et d’*Atriplexhalimus* montre des taux cumulés de germination sensiblement équivalents entre les deux espèces, bien que l’orge ne soit pas une plante halophyte. Ces résultats montrent la possibilité d’utilisation potentielle de l’orge pour la mise en valeur des sols salés ou irrigués avec des eaux de mauvaise qualité (saumâtre, etc.).

A notre humble avis, une pareille étude nécessite d’être poursuivie en prenant en considération d’autres espèces végétales à comparer avec cette chénopodiacée. En outre, des études sur le comportement ultérieur de ces deux espèces, en particulier de l’orge, sous stress salin, notamment les phases de tallage, de montaison et de maturation fourniraient des résultats permettant de mieux raisonner l’utilisation possible de cette céréale dans la valorisation des sols à valeur agricole médiocre.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Belkhodja M & Bidai Y. (2004) : Réponses des graines d’*Atrilex halimus* L., à la salinité au stade de la germination. Revue de la sécheresse, 15(4), 331-337.

-Ben Ahmed H, Zid E, & El Grignon C. (1996) : Croissance et accumulation ionique chez l’*Atrilex halimus.* Cahiers agriculture, 1, 365-372.

-Guerrier G. (1983) : Capacités germinatives des semences en fonction des doses graduelles en NaCl, importance de transferts sur milieux sodés ou témoin. Rev. Gen. Bot. 90, 3-21.

-Bounaqba S, M’barka Y-T & Zid E. (1996) : Croissance et développement de trois céréales (blé, triticale et prge) cultivées en milieu hydroponique sous contrainte saline. Rev. Rég. Ar., n° spécial Actes du séminaire interna. « Acquis scientifiques et perspectives pour un développement durable des zones arides ». Djerba, 5-6-7 décembre 1996, pp. 230-243.

-Côme D. (1970) : Les obstacles à la germination. Ed. Masson & Cie, Paris, 162 p.

-Djebaili S. (1984) : Steppe algérienne, phytosociologie et écologie. Ed. OPU, Alger, 177 p.

-Le Houérou H-N. (1989) : Classification écoclimatique des zones arides de l’Afrique du Nord. Ecol. Med., XV (3/4), 95-144.

-Le Houérou H-N. (1995) : Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l’Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertisation. Options Médit. Série B n°10. Ed. CIHEAM & ACCT, Montpellier, 597 p.

-Piri K, Anceau C, El jaafari S, Lepoivre P & Semal J. (1994) : Sélection in vitro de plantes androgénétiques de blé tendre résistantes à la salinité. In : Demarly Y. & Sibi M. L. (Eds.) – Quel avenir pour l’amélioration des plantes ? Ed. AUPELF-UREF &John Libbery Eurotext. Paris, 1170 p.

-Sibi M-L, Fakiri M. (2000) : Andrgenèse et gynogenèse, source de vitrovariation et de tolérance à la salinité chez l’orge (Hordeum vulgare L.). Revue de la sécheresse 11 (2) : 125-132.

La dynamique du ravinement dans une zone de marnes noires : la région de Médéa, Algérie

Kouidri Rabia
INRF, Ain D’heb, Médéa 26001, Algérie
Email : kouidri_rabia@yahoo.fr

RESUME
L’étude a pour but de mettre en évidence dans la région montagneuse de Ouzera, Médéa, Algérie, la dynamique exacerbée du ravinement depuis 1993 jusqu’à 2013 et les glissements de terrain ainsi que les éboulements lors des travaux routiers réalisés depuis quatre ans au niveau de la route nationale 1. Avant l’installation du village agricole, la région était couverte de vignoble qui maintenait et protégeait la couverture pédologique.
Actuellement, l’éclaircie de la surface et les pratiques culturales intensives et inappropriées à la sévérité du paysage, contribuent à une érosivité accrue qui détériore les sols de façon irréversible. A l’aval de ce village, apparaît un grand glissement de terrain.
Les travaux de génie civil réalisés en 1987 ont créé un grand ravin. Ainsi, l’évolution du versant densément peuplé (village agricole) pose de plus en plus de questions quant à l’avenir de ces milieux et de ces sociétés. Les bordures de la route inquiètent à juste titre les riverains qui voient leurs champs cultivés ou leurs prés peu à peu grignotés par les écoulements. La restauration du ravin est une des actions à entreprendre ainsi que l’entretien du glissement de terrain. L’installation du nouveau pôle urbain à Ouzera et le doublement de la route nationale 1 entre Ouzera et Ben Chicao ont créé d’autres phénomènes érosifs actuels durant ces dernières années tels que des glissements de terrain et des éboulements.Pour répondre à ces problèmes, nous sommes en train d’étudier l’évolution du fonctionnement du ravin ainsi que les autres phénomènes érosifs.
Mots clés : conservation de l’eau et du sol, éboulement, érosion hydrique, glissement de terrain, ravinement, route.

SUMMARY
The highlight in the mountainous region of Ouzera, Medea, Algeria aims to study the dynamic exacerbated gully from 1993 until 2013 and landslides and cave-ins during road works for four years level of national road 1. Before installing the agricultural village, the area was covered with vineyards which maintained and protected the soil cover. Currently thinning the surface and intensive and inappropriate to the severity of the landscape farming practices contribute to increased erosive soils which deteriorates irreversibly. Downstream from this village appears a large landslide.
The civil works carried out in 1987 have created a large ravine. Thus, changes in the densely populated watershed (agricultural village) asked more and more questions about the future of these areas and these companies. The edges of the road rightly concerned about the residents who see their cultivated their fields or meadows gradually eroded by runoff. The restoration of the ravine is one of the actions to be undertaken and the maintenance of the landslide.
The installation of the new urban center in Ouzera and doubling the national highway 1 between Ben and Ouzera Chicao created other current erosion phenomena in recent years such as landslides and mudslides.To address these problems, we are studying the evolution of the operation of the ravine and other erosive phenomena.
Keywords: conservation of water and soil, landslide, water erosion, landslide, gully road.

1. INTRODUCTION

La construction du village agricole au sommet de la crête a crée des écoulements d’eau importants et la détérioration de la voie routière. L’évolution du versant densément peuplé (village agricole) pose de plus en plus de questions, quant à l’avenir de ces milieux et de ces sociétés. Les bordures de la route inquiètent à juste titre les riverains qui voient leurs champs cultivés ou leurs prés peu à peu grignotés par les écoulements d’eau. Ainsi, pour éviter un trop fort ruissellement sur le versant, la société SONATRO pour la protection des routes en collaboration avec les ponts et chaussées, a détourné les eaux venant des toitures des maisons (village agricole : Haouch ZEGAA, Ouzera) ou des champs, à

l’aide de drains souterrains vers les sentiers. Cette technique a provoqué une concentration de l’écoulement et a favorisé l’érosion en ravine sur les terres agricoles. La ravine qui se trouve en dessous du village avec une longueur de 150 m, une largeur de 15 m et une profondeur de 8 m, est l’exemple le plus marquant de ce type d’érosion dans le village agricole. Ce processus est dû en grande partie aux fortes concentrations des eaux venant de l’amont. A l’aval, apparaît un glissement de terrain dû essentiellement à l’écoulement souterrain (présence de sources et de puits). L’analyse de la dynamique du fonctionnement de ce ravin démontre que l’ampleur du phénomène s’accroît de façon très rapide d’année en année. La déstabilisation et l’effondrement des berges empiètent sur les surfaces adjacentes. Les travaux réalisés par le génie civil (seuils en gabions) au niveau de la tête de la ravine ont accentué le phénomène érosif. Ainsi, il est urgent de trouver des solutions d’aménagement anti-érosif les plus efficaces.

L’installation du nouveau pôle urbain à Ouzera et le doublement de la route nationale N°01 entre Ouzera et Ben Chicao ont provoqué des glissements de terrain et des éboulements. Ce site est affecté par l’érosion accélérée du à ces travaux routiers et les nouvelles constructions. Ainsi pour résoudre ces problèmes, nous sommes en train d’étudier l’évolution spatio-temporelle du ravin jusqu’à l’heure actuelle ainsi que les autres processus érosifs (les éboulements et les glissements de terrain).

2. MATERIELS ET METHODES

Après chaque évènement pluvieux, nous faisons un levé en travers au niveau de chaque transect de la ravine. Pour faire les levés, on matérialise une droite entre les piquets constitués par des fers à bétons filetés (diamètre:12mm),d’une longueur d’un mètre, enfoncés de 80 cm dans le sol pour résister aux jeux des bergers. L’espacement entre les piquets est de 5 m c’est-à-dire entre chaque profil transversal. Lors de la mise en place un repère de peinture, tracé sur le piquet à 10 cm exactement au-dessus de la surface du sol. Ces piquets permettent de repérer les variations verticales au niveau du sol résultant de l’ablation ou de la sédimentation. Cette droite est matérialisée par une corde de 0,8mmd’épaisseur, mis en tension par une masse de plomb (1kg) afin d’éviter les erreurs. On mesure la hauteur entre le fil et le sol avec une canne en bois graduée en mm pour les hauteurs supérieures à 1,50 m. Si la hauteur est inférieure à 1,50 m, on mesure avec une corde et un ruban mètre. Ces résultats n’ont pas été fiables car après évènement pluvieux et les fortes neiges, les piquets de mesure ont été arrachés par les riverains et ont été également emportés par les pluies torrentielles. Nous avons appliqué une autre méthode de mesure en utilisant le ruban mètre, les photos aériennes, les prises de vues régulièrement et les témoignages auprès des riverains.

3. RESULTATS

3.1. Evolution actuelle du grand ravin d’origine récente à Haouch ZEGAA: *Ouzera*

Avant de proposer une intervention avec les habitants, nous avons établi un premier contact avec eux pour connaître leur sensibilité vis à vis des problèmes liés au ravin. L’objectif de cette démarche était de connaître l’historique de la formation de ce ravin et les réactions des paysans, quelques riverains ont répondu à nos questions : comment le ravin s’est développé ?

Quelle a été la chronologie de sa formation ?

La rigole est apparue en 1987 après les travaux réalisés par les ponts et chaussées (route, drains souterrains) lors des crues importantes. En 1987-1988, les paysans ont commencé à appréhender le phénomène en notant l’apparition de plusieurs rigoles. Les années suivantes, elles n’ont cessé de s’élargir et sont devenues des ravines fonctionnelles.

La ravine se creuse puis s’élargit en empiétant sur les terres cultivables. La route perpendiculaire à la ravine (Fig.1) est de plus en plus détériorée. Cette dégradation s’amplifie au cours des années et prends des dimensions alarmantes. Les habitants s’inquiètent au sujet du devenir de leur terre et du village entier. Face à ce problème, les autorités locales ont tenté de limiter l’érosion en tête de ravine (Fig. 2) à l’aide des seuils superposés en gabion, le 01/11/1998, trois mois après, le 10/02/1999, il y a eu des pluies torrentielles avec une intensité de 57 mm. Après ces pluies diluviennes, on a enregistré en 48 heures, 60 cm de neige. A cette époque toutes les conditions se trouvent réunies pour le déclenchement des glissements de terrain. Après ces intempéries et la fonte des neiges, il y a eu une coulée boueuse et un glissement de terrain à la base du village agricole (Fig.3).En octobre 2009, durant 48 heures, les pluies sont tombées avec une intensité de 50mm. En 2008, la neige a duré dix jours et a provoqué des dégâts matériels et humains. La hauteur de la neige était de 80 cm jusqu’à 2m.

En octobre 2009, durant 48 h, les pluies diluviennes sont tombées avec une intensité de 50 mm et ont provoqué des glissements de terrains.

Photo : Kouidri R

Figure 1. Seuil en gabion au niveau de la tête de la grande ravine qui est devenue un ravin.
(Travaux : correction torrentielle : Sonatro Médéa).
HaouchZegaa – Ouzera 11.11.1998

Photo : Kouidri R

Figure 2. Correction torrentielle : Sonatro Médéa. Seuil en gabion à l’aval de glissement de terrain. Seuil en gabion au niveau de la tête de la ravine Entre les deux :
Pont sous terrains, drains pour évacuer les eaux propres venant de l’amant (pluie)
HaouchZegaa – Ouzera 11.11.1998

Après ces intempéries et la fonte des neiges, il y a eu une coulée boueuse et un glissement de terrain à la base du village agricole (Fig.3).

Photo: Kouidri R

Figure 3. Route entre le versant et la ravine.
HaouchZegaa – Ouzera 11.11.1998

La route s’est détériorée, la surface du versant est devenue lissée, glacée. Les seuils ont basculé légèrement. Ensuite durant 24 h, les pluies sont tombées avec une intensité de 87 mm(les 7, 8 octobre 1999). En revanche, le gabion s’est déplacé latéralement de 1 m 55 (Fig. 4).

Photo: Kouidri R

Figure 4. Affaissement du seuil en gabion au niveau de la tête de la ravine.
HaouchZegaa – Ouzera Fév. 1999.

L’affaissement des seuils en gabions (Fig.5) est dû essentiellement aux pluies torrentielles, tombées précédemment. Tous les sédiments venant de l’amont se sont déplacés vers l’aval d’où élargissement de la ravine : entre le flanc de la ravine droite et le seuil en gabion = 40 cm et entre la ravine gauche et le seuil en gabion, il existe une plate-forme qui a pu la caler. Par contre, sous les deux seuils (gabion), il existe un drain sous forme de tunnel (2 m 70 de long). Les eaux propres sortant de ce drain ont poussé les sédiments et les gros blocs placés sous les seuils en gabion vers l’aval. Huit mois après, tous les sédiments sont partis dans le fond de la ravine.

Photo: Kouidri R
Figure 5. Affaissement du seuil en gabion au niveau de la tête de la ravine.
HaouchZegaa – Ouzera Fév. 1999

Le 16 novembre 1999, une pluie importante (intensité = 28 mm), s’est abattue sur cette ravine d’où sol imbibé d’eau. La tête de la ravine a beaucoup évolué : des pans des flancs de cette ravine, se rompent et glissent le long des parois en colmatant partiellement le fond de la ravine. Dès 1988, cette ravine est devenue un exutoire par les eaux excédentaires des champs des habitants (toitures) du village agricole. Au fil des années, suite à l’accroissement de la population et de l’occupation des sols, le débit qui parcourt la ravine, augmente progressivement depuis sa source (au sommet du village) jusqu’à son déversement dans l’oued. Depuis 1993 à ce jour (2012-2013), cette ravine est devenue un grand ravin (Fig. 6) suite aux pluies torrentielles et aux intempéries.

Photo: Kouidri R
Figure 6. Elargissement de la tête du ravin:16 m
Haouch Zegaa,Ouzera 14/03/2012

3.2. Evolution des rigoles parallèles à la grande ravine

Ces rigoles sont devenues des ravines depuis l’installation des autres drains souterrains. Il existe six ravines qui sont devenues actives et fonctionnelles. A partir de l’an 2013, je vais quantifier les taux d’ablation et de sédimentation au niveau de ces nouvelles ravines, qui se trouvent sur des terres cultivées, allant du village agricole Haouch ZEGAA, Ouzera, jusqu’à EL DJOUAHRIA Ouzera. Ces ravines sont des destructeurs impitoyables de bonnes terres agricoles. Elles sont capables de découper

un champ en petites parcelles aux formes bizarres, et gênent les déplacements des animaux et des engins agricoles. En revanche, sur le grand ravin étudié, tous les piquets placés sur les flancs pour la quantification, ont été arrachés à deux reprises après le passage du tracteur sur ce terrain. D'autres piquets sont partis dans le fond du talweg avec les sédiments après les pluies torrentielles durant les années d'expérimentation. Ces ravines sont une menace pour le bétail : il arrive souvent que les veaux ou autres bêtes tombent dans des ravines et ne soient plus capables d'en sortir. Elles mettent en danger les granges et autres bâtisses qu'il faut parfois déplacer avant que leurs soubassements ne soient complètement minés. Ainsi, les murs d'une maison se trouvant à l'aval de ces ravines, sont complètement fissurés, lézardés. La stabilisation et la réparation de ces ravines sont les plus coûteux de tous les travaux de terrassement, la construction de barrages ou autres ouvrages. En revanche, il est toujours possible de prévenir la formation des ravines par une bonne utilisation des terres.

3.3. Glissement de terrain

Ce glissement se trouve au-dessous du village agricole sur la route allant vers Kef boukhélil. Le versant est constitué par des marnes passant à des argiles en certains endroits. De fortes pluies s'étant produites durant cette période de glissement (Fig. 7). Une partie de ce versant a été complètement remaniée le 06 /02/2012 par un mouvement des formations superficielles qui ont glissé le long de la pente. Dans cette zone, on relève de nombreuses sources. A la base de ce décollement, il faut sans doute invoquer quelques déformations qui ont préparé le terrain, et aussi peut être quelques retraits ayant ouvert des crevasses où l'eau s'est engouffrée lors de fortes pluies du 01/03/2012.

Photo: Kouidri R

Figure 7. Glissement de terrain et correction torrentielle : mur de soutènement à HaouchZegaa,Ouzera 09/05/2012

3.4. Discussions

Ce ravin est fonctionnel et constitue un drain de ruissellement et transport de produit d'érosion (Fig. 8). Il se comble en été et s'érode en hiver. Le bilan en années est une tendance globale à l'ablation. Le ravin s'élargit très vite et a tendance à s'approfondir : L= 150 m, l = 5 à 12 m (16 m en tête de ce ravin), Profondeur = 8 m. D'après les photos aériennes : année 1972, éch : 1/20 000, avant l'installation du village agricole, cette ravine était une surface plane sur laquelle il y avait du vignoble. D'après les témoignages des riverains, l'évolution du ravin depuis 1987 jusqu'à 2013 est de 26 ans.

Photo: Kouidri R

Figure 8. Ruissellement concentré (pluies torrentielles)
Elargissement du grand ravin. Haouch Zegaa – Ouzera Fév 1999

Les résultats de 26 ans permettent de comprendre l’évolution de ce ravin d’érosion qui tend à se creuser et dont les versants sont raides. On se trouve dans une phase aiguë de creusement du ravin où le creusement l’emporte sur le comblement. Suivant les témoignages des riverains, les premiers creusements de la ravine auraientdébuté au début des années 1990 -1991. Ce n’est que plus tard en 2013, qu’apparaît l’élargissement de la première excavation. En conséquence, il aura fallu attendre 26 ans pour que la phase de creusement ait joué son rôle.

Aménagement antiérosif

Mars 2004, les services des ponts et chaussées (Génie civil), ont réalisé des aménagements antiérosifs au niveau de la tête du grand ravin (seuils en gabions). (Fig. 9). Ils ont rechargé la route, ont placé un mur de soutènement (Fig. 10) à la base du glissement de terrain. Cet aménagement a été réalisé sans faire appel aux géomorphologues, spécialistes de l’érosion.

Photo: Kouidri R

Figure 9. Aménagement au niveau de la tête du ravin: seuils en gabion

Photo: Kouidri R

Figure 10. Mur de soutènement au dessous du glissement de terrain

Ainsi, il est urgent d’aménager ce grand ravin en faisant :
De la correction torrentielle :
- Au niveau du ravin : seuils en gabions à l’aval et en amont, cordons des pierres.
- Au niveau de la route : des drains, des fossés.
- De la correction biologique :
- Reprendre la plantation du vignoble à la place de la culture (blé, vesce, avoine, orge,….)
- Remplir le fond du ravin de sédiments et le rendre uniforme afin de planter dessus du vignoble.

Ces travaux de génie civil se sont soldés par des échecs. Dans notre secteur, le vignoble arraché après l’indépendance a été remplacé par des céréales (blé dur et orges). Or le remède miracle à l’érosion est recherché dans le vignoble; ce dernier concurrence l’agriculture (céréales). Il faudrait entreprendre un aménagement expérimental et le réaliser avec la population rurale concernée par ce problème.
Il s’agit de supprimer tous les drains souterrains, de réaliser des fossés naturels à l’aval du village agricole pour récupérer toutes ces eaux et planter sur tout le versant de la vigne, combler le ravin de sédiments et enlever les seuils en gabions.

3.5. Les éboulements

Dans la commune de Ouzera, les éboulements de terrains aux abords de la routenationale RN°01 font aussi rage. Un éboulement (17 mars 2012) exceptionnel quia eu lieu à une centaine de mètres plus en amont du barrage fixe de la gendarmerie nationale (Brigade de Ouzera) a failli provoquer une hécatombe parmi une dizained’ouvriers relevant de la même APC et qui s’attelaient à nettoyer les abords de laroute RN°01. L’éboulement a eu lieu dans un virage très dangereux (Fig. 11).
La falaise (Fig.12), quis’était détachée presque dans sa totalité du relief formant l’imposant plateau qui surplombe sur trois kms de longueur entre Ouzera et le village Ben Haddou s’est aussi effondrée. Tout au long des EAC et des EAI qui ponctuent les abords de la RN°01 au voisinage deslocalitésde Ouzera, d’El Hamdania, de Ben Chicao…, le phénomène de glissement deterrain (Fig. 13) a pris des proportions alarmantes menaçant, par ailleurs, de stérilisationirréversible des milliers d’ha de terres agricoles. Ces couches arables, très fertiles parailleurs, ont pris des millions d’années pour se former. Leur perte engendrerait unealtération avancée des caractéristiques édaphiques de ces sols et une stérilisationinéluctable aux conséquences sur l’économie rurale de la région.
Des gabions récemment installés dans la région plient devant la poussée des milliersde terre (Fig. 14). Au niveau du lieudit Cheikh Benaissa (2 kms d’Ouzera), plusieurs poteauxélectriques ont été déracinés du sol suite aux mouvements de terrains qui jouxtentla route RN°01. Sur les versants, des rigoles nouvellement réalisées sont comblées deboue.

Photo: Kouidri R

Figure 11. Route N°1: Ouzera,détachement de la falaise formant l’imposant plateau. 14/03/2012

Photo: Kouidri R

Figure 12. De gros blocs à l’aval de la falaise, Ouzera, 15/03/2012

Photo: Kouidri R

Figure 13. Glissement de terrain et éboulement sur la bordure de la route N°1, Ouzera, 15/03/2012

Photo: Kouidri R

Figure 14. Glissement de terrain au-dessus du seuil en gabion sur la route nationale RN°1, Ouzera

4. CONCLUSION

Ces travaux de génie civil se sont soldés par des échecs. Les micro-barrages en gabion au niveau de la tête du ravin, les drains sous terrains à l'aval du versant, l'installation du village agricole ont créé des mouvements de masse et des ravinements. Dans notre secteur, le vignoble arraché après l'indépendance, a été remplacé par des céréales (blé dur et orge). Or le remède miracle à l'érosion est recherché dans le vignoble ; ce dernier concurrence l'agriculture (céréale).

Il faudrait entreprendre un aménagement expérimental et le réaliser avec la population rurale concernée par ce problème. Concernant l'installation du nouveau pôle urbain à Ouzera a été également soldé par un échec. Tous les murs de la cité universitaire et ceux de l'université sont fissurés et lézardés à cause du terrain instable.

A cause des travaux routiers (le doublement de la route nationale N°01), une falaise s'est détachée presque dans sa totalité du relief formant l'imposant plateau qui surplombe sur trois km de longueur entre Ouzera et le village Ben Haddou s'est elle aussi effondrée. Durant ces dernières années entre 2005 et 2012, des pluies diluviennes et les fortes neiges ont provoqué des glissements de terrains et des éboulements dans la région de Médéa.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-BELLATRECHE A. (1987) : Erosion et perspectives de conservations de sols dans les bassins sédimentaires de Médéa – Beni slimane – Algérie – 276 pages.

-BENCHETRIT M. (1972) : L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie – 215 pages.

-BRGM-ORSTOM Montpellier cemagref (1987) : Bassins versants expérimentaux de Draix, compte rendu de recherche N° 1 en érosion et hydraulique torrentielle CEMAGREFF. ONF. RTM Grenoble, 128 pages.

-DEMMAK A. (1982) : Contribution à l'étude de l'érosion et des transports soldes en Algérie septentrionale -Thèse Docteur Ing. Paris, 232 pages.

-MUXART et al. (1987) : L'érosion sur les hautes terres du LINGAS, un processus naturel, une production sociale, laboratoire de géographie physique UA- 0141 C.N.R.S, 146 pages.

-OLIVERY JC. HOORELBECK J. (1988) : Erosion des terres noires de la vallée du BUECH (Alpes du sud) (bassins sur roubines de savournon), 20 pages

-OLIVRY J.C (1986) : Réflexion sur la mesure et l'estimation des bilans d'exploitation de matière solides à l'érosion, l'Expérience des premiers travaux sur les bassins des marnes noires du PIC St Loup (Montpellier) et des Alpes du sud (B.V.PACA. Colloque BVRE SFSH, CNFGG, Aix En Provence.

L'exploitation fourragère du mil [*Pennisetum glaucum*]

Leila Radhouane
Laboratoire des Sciences et Techniques Agronomiques, INRAT, Tunisie
Email : radhouane.leila@iresa.agrinet.tn

RESUME
Le système d’élevage traditionnel repose encore principalement sur l’exploitation des parcours naturels. Or, ce système n’est pas durable car il engendre à la longue un épuisement du sol. De nombreuses autres espèces végétales peuvent s’avérer être une ressource alimentaire importante pour le bétail, seulement les connaissances à leur sujet sont peu étendues d’où une sous-utilisation.Parmi ces espèces, le mil [*Pennisetum glaucum*] est susceptible de jouer un rôle majeur dans l’augmentation de la productivité de l’élevage par sa valeur alimentaire car il peut être utilisé pour subvenir abondamment aux besoins du bétail dans un temps court en donnant un fourrage de bonne qualité au milieu de l’été lorsque les cultures pérennes donnent de faibles rendements tout en qualité qu’en quantité. Il possède de plus des prédispositions naturelles qui lui permettent de supporter les conditions de culture difficiles tel le manque d’eau ou les eaux de qualité médiocres. Egalement, le mil est représenté par de nombreux écotypes qui sont autant de formules d’adaptation à l’hétérogénéité des milieux, des climats et à leurs modifications respectives. L'objectif de cette étude est de comparer l'aptitude à l'exploitation fourragère de deux écotypes locaux de mil, irrigués à l'eau saumâtre. L'essai a été réalisé en plein champ. Le dispositif expérimental comporte deux écotypes de mil et trois traitements hydriques (deux traitements salins et un contrôle). Les paramètres agronomiques mesurés concernent tous l'aspect végétatif pouvant être exploité pour l'affouragement en vert (dimensions des feuilles, nombre de talles et des feuilles, la teneur en chlorophylle et le rendement en matière verte).
Les résultats ont montré que la salinité a agi favorablement sur tous les paramètres étudiés sauf sur la hauteur des tiges qui a subi un raccourcissement sous l'effet du sel. Pour ce qui est de la variabilité génotypique, les résultats ont fait ressortir la supériorité de l'écotype originaire du sud tunisien qui s'est distingué par sa haute tolérance au sel. En conclusion, nous pouvons dire que sur le plan agronomique, le mil présente un grand potentiel de développement puisqu’il supporte les conditions extrêmes d’agriculture et fournit des rendements élevés au bout d’une saison de végétation relativement courte. Sur le plan fourrager, le mil peut être incorporé dans la ration alimentaire animale.
Mots clés: Cheptel- Fourrage- *Pennisetum glaucum*- Salinité- Variabilité génétique-

SUMMARY
Traditional farming system still relies mainly on the use of rangelands. However, this system is not sustainable because it leads to long soil depletion. Many other species may be an important food source for cattle but knowledge about them is not extended. Among these species, pearl millet [*Pennisetum glaucum*] may play an important role in increasing livestock productivity by its nutritional value. It can be used extensively to support the needs of livestock in a short time by giving good quality forage in the middle of summer when perennial crops low yields. It has more natural predispositions that allow it to withstand the difficult growing conditions such as lack of water or brackish water. Pearl millet is represented by many ecotypes which are all forms of adaptation to heterogeneous environments, climates and their changes. The objective of this study was to compare the ability to produce feed of two pearl millet ecotypes irrigated with saline water. Experimentation was conducted in the field. Layout system was Split Plot with two ecotypes of millet and three water treatments (two saline treatments and control). Parameters measured are vegetative and cover all the aspects that can be used for green feed (sheet size, number of tillers and leaves, chlorophyll content and yield of green matter).The results showed that salinity hasa favourable action on all parameters studied except stem height which has been shortened. For genetic variability, results showed superiority of the ecotype native of southern Tunisia which is distinguished by its high salt tolerance. We can conclude that pearl millet has great potential for development as agriculture supports extreme conditions and provides high yields after a relatively short growing season. On field level, pearl millet can be incorporated into the feed ration.
Keywords: Feed- Genetic variability-Livestock- Pennisetum glaucum- Salinity-

1. INTRODUCTION

Dans les pays en voie de développement, l’élevage est une importante activité en milieu rural et constitue de ce fait une ressource économique importante. En Tunisie, le système d’élevage est traditionnel et repose encore principalement sur l’exploitation des parcours naturels. Or, ce système n’est pas durable car il engendre à la longue un épuisement du sol suite à l’intensification de l’utilisation des ressources disponibles, ce qui engendre des conséquences négatives sur la production et donc sur les revenus à long terme. Contribuer au développement durable des systèmes de production agro-pastoraux revient à utiliser rationnellement les ressources naturelles et à gérer rigoureusement les pâturages.

De nombreuses espèces végétales peuvent s’avérer être une ressource alimentaire importante pour le bétail, seulement les connaissances à leur sujet sont peu étendues d’où une sous-utilisation. Néanmoins plusieurs recherches sont en cours afin d’identifier les espèces végétales susceptibles de jouer un rôle majeur dans l’augmentation de la productivité de l’élevage par leur valeur alimentaire. Parmi ces espèces, le mil [*Pennisetum glaucum*] graminée d’origine tropicale, s’étend actuellement en dehors des zones traditionnelles de sa culture (Hassanat et al., 2006) grâce aux prédispositions naturelles qui lui permettent de supporter les conditions de culture difficiles tel le manque d’eau ou les eaux de qualité médiocres et les hautes températures (Payne, 2000; Radhouane, 2008; Ali, 2010). Il fournit des rendements élevés au bout d’une saison de végétation relativement courte (Guimaraes Junior et al. 2008).Il a une bonne valeur alimentaire (Catelan, 2012), une teneur importante en protéine (Moreira et al. (2007) et une haute digestibilité dépassant celle du sorgho et du maïs (Morales et al., 2011). Il ne contient pas d’acide cyanhydrique (Heath et al., 1973). Il peut êtreutilisé pour l’affouragement en vert, la pâture, l’ensilage et même le foin pourvu qu’il soit bien conditionné (Amaral et al. 2008).Egalement, le mil est représenté par de nombreux écotypes qui sont autant de formules d’adaptation à l’hétérogénéité des milieux, des climats et à leurs modifications respectives (Radhouane, 2009) d’où la possibilité d’identifier des écotypes pouvant s’accommoder des eaux saumâtres et qui pourraient constituer un matériel végétal alternatif pour les zones marginales du sud tunisien, caractérisé par des eaux titrant entre 2 et 6 g de sels par litre (Hachicha et Braudeau, 1998).

L'objectif de cette étude est de comparer l'aptitude à l'exploitation fourragère de deux écotypes locaux de mil, irrigués à l'eau saumâtre.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériel végétal

Cet essai a porté sur deux écotypes autochtones de mil collectés à travers le territoire tunisien. Ces écotypes appartiennent à des étages bioclimatiques différents, sont cultivés sur des sols de textures diverses et sont irrigués avec des eaux de qualité médiocre. Ces écotypes sont :

• **ZZ :** écotype collecté à Zarzis (latitude 33° 30’ ; longitude 11° 07’), présentant une longue tige et de chandelles fines à structure lâche. Son cycle est assez long, et il est productif.

• **HG :** écotype collecté au cap Bon (Hammam Laghzaz: latitude 36°50’ ; longitude 11° 06’) possédant une courte tige et des chandelles larges et compactes. C’est un mil à cycle court et moyennement productif.

2.2. Protocole expérimental

Les essais ont été conduits au champ dans une zone semi-aride à hiver doux. Les semis ont été réalisés le 23 mai 2009 à la station expérimentale de l’INRA de Tunis (latitude: 36° 51’; longitude : 10° 11’). Le sol est d’apport alluvial; il est profond, homogène et de texture argileuse, avec une teneur en éléments fins >70%.

L’eau d’irrigation utilisée est celle courante, titrant 1 g/l en NaCl. Elle est délivrée aux parcelles par submersion. Pour réaliser le stress salin, nous avons adopté un dispositif en Split Plotpermettant de donner à l’eau d’irrigation la concentration en sel souhaitée.

Les traitements se résument comme suit:

T_0: eau du robinet titrant environ 1 g/l

T_3: T_0+3 g/l de NaCl = 4 g/l

T_6: T_0 +6 g/l de NaCl = 7 g/l.

Les besoins théoriques en eau du mil sont estimés à 580 mm (ETM = 100%) (Damagnez et al., 1962; De Villèle, 1965). La fréquence d'irrigation était la même: 10 jours au début de la culture et une fois par semaine dès le début de l'épiaison. Les traitements ont été démarrés au stade quatre feuilles. Les deux écotypes ont été semés en trois répétitions. Chaque répétition est représentée par un carré de 25 m2. La densité est de 10 plantes au mètre carré. Les traitements sont espacés de 3 m et sont entourés, dans toutes les directions, de lignes de bordure.

2.3. Mesures effectuées

Les paramètres suivis sont morphologiques et aussi métaboliques.

• La mesure de la hauteur des plantes (HAT), en centimètres, est déterminée à l'aide d'une règle graduée du collet de la plante à l'insertion de la chandelle, au stade maturité.

• Les feuilles ont été comptées pour chaque plante et les dimensions (longueur et largeur) ont été mesurées sur la 3ème feuille à partir de la feuille drapeau, au stade pâteux.

• Les talles basales pour chaque plante sont dénombrées au stade pâteux.

• Le rendement en matière verte a été estimé pour chaque carré de 25 m² puis ramené à l'hectare.

• L'extraction de la chlorophylle des tissus foliaires a été effectuée sur la 3ème feuille selon la méthode de Hiscox et Israelstam (1979). Cette technique utilise le DMSO (diméthylsulfoxide) comme solvant et ne nécessite ni broyage ni macération du tissu végétal.La teneur en chlorophylle totale a été estimée par la formule d'Arnon (1949).

2.4. Analyse statistique

Les résultats sont soumis à l'analyse de la variance à un ou à deux facteurs, et les moyennes sont comparées selon la méthode de Bonferonni, basée sur la plus petite différence significative. Chaque moyenne est affectée d'une lettre, les moyennes suivies d'une même lettre n'étant pas significativement différentes.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

La tolérance à la salinité est exprimée habituellement en termes de croissance, de rendement ou de survie. De plus, la croissance des plantes est contrôlée génétiquement mais l'expression de ses potentialités est tributaire des conditions de culture (Boyer, 1982). A cet égard, et pour estimer la tolérance de 2 écotypes de mil au sel, nous avons mesuré des paramètres relatifs à leur croissance aérienne et à leurs productions. Les résultats statistiques relatifs aux différents paramètres suivis sont résumés dans le tableau 1.

Effet de la salinité sur la hauteur de la tige principale (HAT)

La hauteur est d'une grande importance pour la détermination de la variabilité agro-morphologique et constitue la principale source de diversité entre les écotypes de mil (Rahal-bouziane et Kharsi, 2004). Cette constatation a été observée pour les 2 écotypes de mil étudiés. En effet, la barre de 2m sépare les 2 écotypes: ZZ présente la plus haute stature (Tableau 2). Ce dernier a subi sous les deux traitements salins (T_3 et T_6) des raccourcissements respectivement de 3% et de 20%. En revanche, la tige de HG a gagné en hauteur en présence de salinité modérée et est restée semblable au témoin sous T_6. Un tel résultat a été signalé par de nombreux auteurs (Yeo and Flowers, 1986) qui ont stipulé que la réduction de la hauteur est toujours plus importante chez les écotypes à haute stature et serait liée à des mécanismes de résistance à la salinité (Cakir, 2004).

Tableau 1. Analyse statistique relative aux différents paramètres

Paramètre	Salinité	Ecotype	Interaction S x E
HAT (cm)	*	**	**
NTB/m²	*	*	*
NF/plante	*	**	** *
LOG (cm)	*	**	*
LAG (cm)	*	*	**
CHL (Spad)	*	ns	**
RMV (t/ha)	*	*	

HAT= hauteur ; NT= nombre de talles ; NF= nombre de feuilles ;
LOG= longueur des feuilles ; LAG= largeur des feuilles
CHL= teneur en chlorophylle par Spad ; RMV= rendement en matière verte ;
*= significatif ; **= hautement significatif

Effet de la salinité sur le nombre de talles (NTB/ plante)

D’une façon générale, l’écotype HG produit plus de talles que l’écotype ZZ (Tableau 2). Cette différence dans la capacité de tallage est signalée pour le mil (Chohan et al., 2006).

Le tallage n’a pas été touché par la salinité modérée pour les deux écotypes. Cependant, lorsque la salinité atteint le seuil de 7g/l, le nombre de talles a augmenté pour HG et n’a pas varié pour ZZ. L’augmentation du nombre de talles en réponse à un stress salin a été citée dans les travaux de Beninga (1993) et de Naeem et al. (2003).

Effet de la salinité sur le nombre et les dimensions des feuilles (NF, LOG, LAG*)*

Génétiquement, l’écotype HG possède des feuilles plus petites et plus nombreuses que celles de de l’écotype ZZ (Tableau 2). L’existence d’une variabilité génétique pour le nombre et les dimensions des feuilles a fait l’objet de nombreuses publications (Chohan et al. 2006). En présence de salinité sévère, les feuilles de l’écotype HG sont devenues plus fines et plus longues, alors que celles de ZZ ont gardé les mêmes dimensions.

La stimulation de la croissance (tige, feuille) observée chez le mil a été déjà signalée chez le Pennisetum (Muscolo et al. 2003) et chez le sorgho (Netondo et al., 2004).

Effet de la salinité sur la teneur en chlorophylle (CHL)

Bien que la teneur en chlorophylle des 2 écotypes soit similaire en absence de sel (Tableau 2), leur comportement a varié avec l’application du stress salin. En effet, le taux chlorophyllien des feuilles de ZZ a augmenté avec la concentration en sel. L’amélioration de la richesse chlorophyllienne en présence de sel a été mentionnée par Alamgir et Ali (1999) et Folkard et al. (2003). Elle serait due à une activation de la chlorophyllase (Santos, 2004).

A l’inverse de ZZ, HG a vu sa teneur en pigments diminuer en présence de salinité. Ce résultat est corroboré par El Iklil et al.(2003).

Effet de la salinité sur le rendement en matière verte (RMV)

Il existe une différence génétique dans la production en vert: ZZ donne un rendement en vert supérieur à HG (46t/ha contre 38t/ha). Ces résultats se rapprochent de ceux trouvés par Khan et al. (2004) pour 6 écotypes de mil d’origine pakistanaise, cultivés avec de l’eau douce (moyenne variant entre 45 et 57t/ha). De même, El Lattief (2011) a trouvé que le rendement de quelques variétés égyptiennes varie entre 54 et 61t/ha. La supériorité productive de ZZ est bien connue chez les écotypes de mil à haute tige qui sont plus productifs que ceux à courte tige (Akmal et al. 2002; Chohan et al., 2006).

Tableau 2. Tableau récapitulatif des valeurs moyennes des différents paramètres mesurés

Paramètre	Ecotype	Contrôle	Salinité modérée	Salinité sévère	Moyenne
HAT (cm)	HG	187 a	198 b	188 a	**191**
	ZZ	208 a	195 b	169 c	**190**
	Moyenne	**197.5**	**196.5**	**178.5**	
NTB (m^2)	HG	1.8 a	1.7 a	2.1 b	**1.86**
	ZZ	1.4 a	1.5 a	1.4 a	**1.43**
	Moyenne	**1.6**	**1.6**	**1.75**	
NF (plante)	HG	12.0 a	12.6 a	11.8 a	**12.13**
	ZZ	9.8 a	10.0 a	10.2 a	**10.0**
	Moyenne	**10.9**	**11.3**	**11.0**	
LOG (cm)	HG	53.0 a	55.0 b	56.2 c	**54.7**
	ZZ	55.0 a	56.0 a	55.2 a	**55.2**
	Moyenne	**54.0**	**55.75**	**55.7**	
LAG (cm)	HG	4.0 a	4.2 a	3.7 b	**3.96**
	ZZ	4.5 a	4.2 a	4.3 a	**4.33**
	Moyenne	**4.25**	**4.2**	**4.0**	
CHL (mg/gMS)	HG	18.2 a	17.2 b	11.5 c	**15.63**
	ZZ	17.9 a	21.1 b	23.7 c	**20.9**
	Moyenne	**18.05**	**19.15**	**17.6**	
RMV (t/ha)	HG	39	40	48	**42.33**
	ZZ	45	60	63	**56.0**
	Moyenne	**42**	**50**	**55.5**	

HAT= hauteur en cm; NT= nombre de talles par m² ; NF= nombre de feuilles par plante; LOG= longueur des feuilles en cm ; LAG= largeur des feuilles en cm; CHL= teneur en chlorophylle par Spad ; RMV= rendement en matière verte en t/ha
Les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de signification

Face à la contrainte saline, les rendements en vert du mil subissent une augmentation, variable selon l’intensité du stress et l’accession en question. Cette amélioration est d’autant plus prononcée que l’intensité du stress est plus importante : elle passe de 19% pour T_3 à 32% pour T_6.

L’interaction significative entre les écotypes et la salinité, a montré que les rendements de HG et de ZZ se sont améliorés de 23% et de 40% respectivement. Bouraïma et al. (1986), ont trouvé que l’écotype tunisien originaire de Zarzis se démarque nettement de son témoin et des autres mils puisque sous l’action d’une salinité modérée, sa croissance tend à doubler. Lorsque la concentration en sel passe à 75 mM, sa croissance reste similaire au témoin, ce qui indique que ce mil présente une tendance à l’halophilie. Ces auteurs indiquent que la tolérance au sel observée chez «Drôo Zarzis» peut être considérée comme associée à une production activée de CO_2 à partir du malate dans les cellules de la gaine, tandis que la sensibilité à NaCl de certains écotypes de mil serait liée à un ralentissement de décarboxylation du malate dans les gaines. D’après Marschner (1995), la stimulation de la croissance par la salinité trouve son explication dans l’effet bénéfique de Na^+ sur l’expansion cellulaire et la balance hydrique. Il est appuyé dans ce résultat par Cheesman (1988) qui explique le maintien de la croissance en conditions salines par une compartimentation vacuolaire efficace de Na^+. En revanche, Vaadia (1976) et Chapin (1991) l’attribuent à l’accumulation des hormones de croissance en réponses au sel, comme l’ABA. Amazallag et al (1999) ont mentionné que l’ABA est responsable de l’accélération de la croissance chez le sorgho, cultivé en présence de sel à des concentrations pouvant dépasser 300 mM.

4. CONCLUSION

En conclusion, nous pouvons dire que sur le plan agronomique, le mil présente un grand potentiel de développement puisqu'il supporte les conditions extrêmes d'agriculture et fournit des rendements élevés au bout d'une saison de végétation relativement courte. Sur le plan fourrager, le mil peut être incorporé dans la ration alimentaire animale. Pour ce qui est de la variabilité génotypique, les résultats ont fait ressortir la supériorité de l'écotype originaire du sud tunisien qui s'est distingué par sa haute tolérance au sel et qui pourrait être exploité à double usage (fourrage en vert pour le bétail et grains pour l'alimentation humaine).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Abd El-Lattief EA. (2011) : Growth and Fodder Yield of Forage Pearl Millet in Newly Cultivated Land as Affected by Date of Planting and Integrated use of Mineral and Organic Fertilizers. Asian J. of Crop Sci., **3(1),** 35-42.

-Akmal M, Naeem M, Nasim S, Shakoor A. (2002) : Performance of different pearl millet varieties under rainfed conditions. Pak J. Agric. Res. **17(4),** 351-354.

-Alamgir ANM, Ali MY. (1999) : Effect of salinity on leaf pigments, sugar and protein concentrations and chloroplast ATPase activity of rice (Oryza sativa L.). Bangladesh J. Bot., **28**, 145-149.

-Ali EA. (2010) : Grain yield and nitrogen use efficiency of pearl millet as affected by plant density, nitrogen rate and splitting in sandy soil. Amer.Eura. J. Agric. Environ.Sci., **7**, 327-335.

-Amaral PNC, Evangelista AR, Salvador FM, Pinto JC. (2008) : Qualidade e valor nutritivo da silagem de três cultivares de milheto. Ciência e Agrotecnologia , **32 (2)**, 611-617.

-Amazallag GN, Lerner HR, Poljakoff-Mayber A. (1999) : Exagenous ABA as a modulator of the response of Sorghum to light salinity. J. Exp.Bot., **41**, 1529-1534.

-Arnon DJ. (1949) : Cooper enzymes in isolated chloroplast polyphenoloxydase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, **24,** 1-7.

-Beninga MB. (1993) : Bilan des travaux d'amélioration variétale en Côte d'Ivoire. In: Le mil en Afrique : diversité génétique et agro-physiologie : Potentialités et contraintes pour l'amélioration génétique et l'agriculture. ORSTOM (eds.) Paris, France. pp: 21-32.

-Bouraïma S, Lavergne D, Champigny ML. (1986) : Etude comparée de la tolérance au sel de diférents mil : croissance, activités phosphoénolpyruvate carboxylase et enzyme malique à NADP. Agronomie, **6(7),** 675-682.

-Boyer JS. (1982) : Plant productivity and environment. Science, **218**, 443-448.

-Cakir R. (2004) : Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research, **89**, 1-16

-Catelan F, Scapinello C, Figueira JL, Galuci AF, Motta ACM. (2012) : Evaluation of milled pearl millet in the feeding of growing rabbits. R. Bras. Zootec., **41(8),** 1866-1871

-Chapin FS. (1991) : Integrated responses of Plant to stress. Bioscience, **41,** 29-36.

-Cheesman JM. (1988) : Mechanisms of salinity tolerance in plants. Plant Physiol., **87,** 547-550.

-Chohan MSM, Naeem M, Khan AH, Kainth RA. (2006) : Performance of pearl millet *(Pennisetum americanum*) varieties for green fodder yield. J. Agric. Res., **44(1),** 146-158.

-Damagnez J, Riou C, de Villèle O, El Amami S. (1962) : Problèmes d'évaporation potentielle en Tunisie, Ann. INRAT, **35,** 161–184.

-De Villèle O. (1965) : Cinq années d'expérience sur les besoins en eau des cultures, Doc. Tech. INRAT, **11,** 1–54.

-El Iklil Y, Karrou M, Mrabet R, Benichou M. (2003) : Effet du stress salin sur la variation de certains métabolites chez Lycopersicum esculeutum et Lycopersicum shesmani. Canad. J. Plant Sci., **82,** 117-183.

-Folkard A, Ding-Kuhu M, Dorffling K. (2000) : Salinity increases CO_2 assimilation but reduces growth in field-grown, irrigated rice. Plant and Soil, **218(1-2),** 1-10.

-Guimaraes Junior R, Goncalves LC, Mauricio RM, Pereira LGR, Tomich TR, Pires DAA, Jayme DG, Sousa LF. (2008) : Cinética de fermentação ruminal de silagens de milheto. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária de Zootecnia, **60 (5)**,1174-1180

-Hachicha M, Braudeau E. (1998) : Irrigation et salinisation en Tunisie. Sols de Tunisie, **18**, 3-11.

-Hassanat F, Mustafa AF, Seguin P. (2006) : Chemical composition and ensiling characteristics of normal and brown midrid pearl millet harvested at two stages of development in southwestern Québec. Can. J. Anim. Sci., **86,** 71-80.
-Heath MDS, Metcalfe RF. (1973) : Forages, 3rd Edition. The Iowa State University Press, Ames, Iowa. 250 pp.
-Hiscox JD, Israelstam GF. (1979) : A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Canadian Journal of Botany, **57**, 1332-1334.
-Marschner H. (1995) : Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed . Academics Press, San Diego, CA, 423pp.
-Morales JU, Alatorre AH, Escalante AA, Lopez SB, Vazquez HG, Diaz Gomez MO. (2011) : Nutritional Characteristics of Silage and Hay of Pearl Millet at Four Phenological Stages. J. of Animal and Veterinary advances, **10(11),** 1378-1382.
-Moreira I, Bastos AO, Scapinelo C, Fraga AL, Kutshenko M. (2007) : Different types of pearl millet (Pennisetum glaucum (L.)R.Brown) on growing-finishing pigs feeding. Ciencia Rural, **37 (2)**, 495-501.
-Muscolo A, Panuccio MR, Sidari M. (2003) : Effects of salinity on growth, carbohydrate metabolism and nuttritive properties of Kikuyu grass (Pennisetum clandestinum Hochst). Plant Sci., **164,** 1103-1110.
-Naeem M, Chohan MSM, Khan AH,. Salah-ud-Din S. (2003) : Study of green fodder yield potential and its components of different pearl millet (*Pennisetum americanum L*.) varieties under irrigated conditions of Faisalabad. Ibid. **2(1),** 74-76.
-Netondo GW, Onyango JC, Beck E. (2004) : Sorghum and salinity. I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. Crop Sci., **44(3),** 797-805.
-Payne WA. (2000) : Optimizing crop water use in sparse stands of pearl millet. Agron. J., **92,** 808-814.
-Radhouane L. (2008) : Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains chez quelques écotypes de mil (*Pennisetum glaucum L. R. Br.)* autochtones de Tunisie. Comptes Rendus Biologies, **331(4),** 278- 286.
-Radhouane L. (2009) : Importance des ressources génétiques dans la valorisation des eaux de qualité médiocre. 2éme Rencontre annuelle de la BNG. Tunisie, Tunis: 4-5 Novembre 2009.
-Rahal-Bouziane H, Kharsi M. (2004) : Les mils pénicillaires de la région d’Adrar (Algérie): quelques caractéristiques en presence d’un témoin importé. Séminaire International d’Aridoculture et Cultures Oasiennes. Djerba, 22-25 Novembre 2004. Revue des régions arides (numéro spécial): 455-459.
-Santos CV. (2004) : Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. Scientia Horticulturae, **103,** 93-99.
-Vaadia Y. (1976) : Plant hormones and water stress. Philosophical transaction of the Royal Society of London. Série B, **273**, 513-522.
-Yeo AR, Flowers TJ. (1986) : Salinity resistance in rice (Oryza sativa L.) and a pyramiding approach to breeding varieties for saline soils. Aust. J. Plant Physiol., **13**, 161-173.

Effet de NaCl sur la germination de lignées d’orge sélectionnées pour leur résistance au BYDV en Tunisie

Mejda Abassi[1], Asma Najar[2], Hager Ben Ghanem[2], Ali Albouchi[1], Salah Rezgui[3]
[1]Institut National de Recherche en Génie Rural Eaux et Forêts, Tunis, Tunisie
[2]Institut National de Recherche Agronomique de Tunisie, Tunis, Tunisie
[3]Institut National Agronomique de Tunisie, Tunis, Tunisie
Email : mej_abassi@yahoo.fr

RESUME
L’orge (*Hordeum vulgare* L.) est une espèce céréalière réputée pour sa large adaptation aux conditions de culture les plus diverses, du sub-humide aux régions arides ou semi-arides, caractérisées par leur manque d’eau et/ou leur salinité élevée. La diversité des écotypes locaux, témoigne de l'élasticité de cette espèce à l'égard des écosystèmes variés pour lesquels elle a développé les mécanismes d'adaptation appropriés. Dans ce contexte, se situe le cadre de ce travail dont l'objectif est d'étudier la réponse au stress salin de quatre nouvelles lignées d'orge sélectionnées pour leur résistance au virus de la jaunisse nanisante de l'orge (BYDV), à travers l'étude de l'effet de doses croissantes de NaCl sur leur germination. Leurs réponses seront comparées à des variétés sensibles à ce virus en l'occurrence Manel et notamment Rihane, cette dernière connue pour son adaptation au milieu aride et semi-aride. Les résultats ont montré une variabilité dans la réponse des lignées d'orge aux doses de sel appliquées. L'effet de la salinité n'a été significativement perçu par les lignées testées qu'au-delà du seuil 3g/l NaCl. Sous le seuil le plus sévère, 12g/l, la lignée 14 et la variété Rihane ont montré un meilleur comportement comparativement à la variété Manel et aux lignées 16, 22 et 12. Cette dernière a montré une sensibilité à ce seuil de salinité.
Mots clefs : BYDV, germination, lignées résistantes, orge, salinité

1. INTRODUCTION

La salinité touche environ 70% de la surface mondiale soit 930 millions d’hectares. Ces surfaces sont en progression à cause de la salinisation, due à l’irrigation non contrôlée et au défrichage (FAO, 2006). En Tunisie, les eaux d’irrigation provenant des barrages présentent une charge en sel de 2 à 3g/l alors que celles des puits profonds titre de 4 à 7g/l (Hachicha, 1995). La mauvaise gestion de ces eaux, a induit une altération par le sel du quart des superficies irriguées (Hachicha et al, 1998).En céréaliculture, les irrigations de complément sont souvent réalisées avec des eaux chargées, sans tenir compte de la tolérance des espèces cultivées. Face à cette une contrainte majeure, la recherche d'espèces adaptées à des seuils élevés devient un impératif pour assurer une meilleure production agricole. Les sels accumulés dans le sol peuvent limiter ou arrêter complètement la nutrition minérale et l'activité métabolique de la plante, suite à une élévation de la pression osmotique du milieu et /ou à l’effet toxique des sels (Munns, 1993 ; Hajji et al, 2001). D'autre part, l'effet de la salinité varie avec la plante, l'espèce et le degré de salinité. Il peut varier également au sein d'une même espèce, en passant d'un stade de croissance à un autre. L'investigation du potentiel de tolérance d'une variété donnée au stade germination figure parmi les critères de sélection largement utilisés pour le choix de génotypes tolérants la salinité.

L'objectif de ce travail est d'étudier la réponse au stress salin de quatre nouvelles lignées d'orge sélectionnées pour leur résistance au virus de la jaunisse nanisante de l’orge (BYDV), à travers l'étude de l'effet de doses croissantes de NaCl sur leur germination. Leurs réponses seront comparées à deux variétés d’orge améliorées Manel et Rihane (Deghais et al, 2007).

2. MATERIELS ET METHODES

L’expérimentation a été menée sur des grains d'orge (*Hordeum vulgare*) fournis par l'INRAT (Institut National de Recherche Agronomique de Tunisie). Il s'agit de quatre lignées d’orges (12, 14, 16 et 22) sélectionnées pour la résistance au virus de la jaunisse nanisante de l’orge (BYDV), (Najar, 2009). Pour évaluer leur tolérance à la salinité au stade germination, elles seront comparées à Manel et Rihane, deux variétés d'orge améliorées (Deghais et al, 2007), mais sensibles au BYDV (Najar, 2009).

Pour la conduite de cet essai un lot de grains issu de chaque lignée ou variété a été lavé à l'eau de robinet, désinfecté à l'eau de javel pendant quelques minutes puis abondamment rincé à l'eau distillée. Ces grains ont été placés dans des boites de Pétri de 9mm de diamètre, tapissées d'une couche de papier filtre imbibé à raison de 25 grains par boites. Cinq traitements salins à concentration croissante ont été appliqués: un traitement témoin, où le papier filtre a été imbibé à l'eau distillée, puis des traitements sous 3, 6 et 9 et 12g/l NaCl.Ces concentrations ont été ainsi fixées car en moyenne la charge en NaCl des eaux de surface et d'irrigation en Tunisie surtout en période estivale avoisine les 6g/l (Hachicha et al, 1995). La dose 12g/l a été choisie comme seuil extrême afin de provoquer les traits éventuels de tolérance à NaCl chez les lignées testées. L'expérimentation a été menée selonun essai factoriel combinant les cinq niveaux salins (0, 3, 6, 9 et 12g/l NaCl) aux lignées (12, 14, 16 et 22) et aux variétés (Manel et Rihane). Le dispositif expérimental adopté est aléatoire complet à quatre répétitions représentée chacune par une boite de Pétri contenant 25 grains.L'évaluation de la tolérance à la salinité durant le stade germination a été assurée grâce à un comptage journalier des graines germées. Une graine est considérée germée quand la radicule émerge. A la fin de la période de germination, le pourcentage de germination, la vitesse de germination, le temps moyen de germination ainsi que la longueur de l'épicotyle et de la radicule ainsi que la vigueur du grain ont été calculés. Le pourcentage de germination a été calculé selon l'équation:

Pourcentage final de germination = Nombre des grains germés /Nombre total de grains par boite**.**

La vitesse de germination (Timson, 1965)) et le temps moyen de germination (Brunchley et Probert , 1998) ont été calculés en utilisant les équations suivantes:

-Vitesse de germination = Nombre de grains germés / nombre de jours comptés.

-Temps moyens de germination= $\sum$ (ni x di)/N, où n est le nombre de grains germés au jour J, d est la période d'incubation en jours et N est le nombre total des grains germés durant le traitement.

-La vigueur du grain (Abdul- Baki et Anderson, 1973) a été estimée selon l'équation suivante: Vigueur du grain = (longueur de la tige + longueur de la racine) x le pourcentage de germination / 100

Les données ont été soumises à l'analyse de la variance moyennant la procédure PROC ANOVA avec l'option de comparaison des moyennes LSD du SAS 9.1. Chaque moyenne est affectée d'une lettre, les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes.

3. RESULTATS

3.1. Effet de la salinité sur la germination

La salinité a affecté le pourcentage, la vitesse et le temps moyen de germination des grains d'orge. Des différences significatives ont été obtenues pour les facteurs, génotype et doses de sel et leurs interactions pour le pourcentage de germination. Alors que seul l'effet traitement a été significatif pour la vitesse et le temps moyen de germination (Tableau 1).

Tableau 1. Analyse de variance relative à l'effet de NaCl sur le pourcentage de germination (%G), la vitesse de germination (VG) et le temps moyen de germination (TMG) des lignées d'orge, 12, 14, 16 et 22 et des variétés Rihane, Manel.

S.V	% G	VG	TMG
Génotypes (G)	0.001^{**}	0.167^{ns}	0.057^{ns}
Traitement (T)	0.001^{**}	0.001^{**}	0.001^{**}
G x T	0.001^{**}	0.983^{ns}	0.088^{ns}

*,** Différences significatives au seuil de $p<0.05$ et $p<0.01$ respectivement

ns : Différences non significatives au seuil de $p\geq0.05$

Les taux de germination les plus élevés ont été notés chez les témoins (Tableau 2). La salinité a réduit le pourcentage de germination des grains d'orge mais variablement selon le traitement et le génotype. Sous 3g/l NaCl, les lignées et les variétés ont maintenu un taux de germination similaire aux témoins. Sous 6g/l, les lignées 12 et 16 ont enregistré une baisse de l'ordre de 13%. Le taux de germination a baissé sous 12g/l. Une réduction de 57, 40 et 19% a été notée respectivement chez les lignées 12, 16 et 22, alors que la lignée 14 et les variétés Manel et Rihane ont montré des pourcentages statistiquement similaires aux témoins. D'autre part, ces trois dernières se distinguent par leur plus fort taux de germination.

Tableau 2. Effet de NaCl sur le pourcentage de germination des lignées d’orge (12, 14, 16 et 22) et des variétés (Manel et Rihane)

NaCl (g/l)	12	14	16	22	Manel	Rihane
0	94 abc	94 abc	100 a	95abc	99 a	99 a
3	83 bcde	92.75 abc	94 abc	99 a	99 a	96 abc
6	82 de	91.75 abcd	86 bcde	92 abcd	98ab	96 abc
9	72 ef	85.75 bcde	73 ef	87 bcde	98 ab	97 abcd
12	39.5 g	87 bcde	60 f	77de	95 abc	92 abc

NB: *Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.*

La vitesse de germination exprimant le nombre de grains germés par jour a été de l'ordre de 7 à 8 gr/jour chez les témoins et sous 3g/l NaCl (Figure 1). Sous l'effet des doses élevées de sel (6 à 12g/l) cette vitesse a chuté. Elle a été de l'ordre de 3 à 4 gr/jour de traitement. Le temps moyen nécessaire à la germination des grains d'orge a oscillé entre 1 et 2 jours chez les témoins et sous le traitement 3g/l NaCl (Figure 2). Il a augmenté à partir du seuil 6g/l et a été de 4 à 5 jours, alors que sous 12g/l, cette période a dépassé 5 jours.

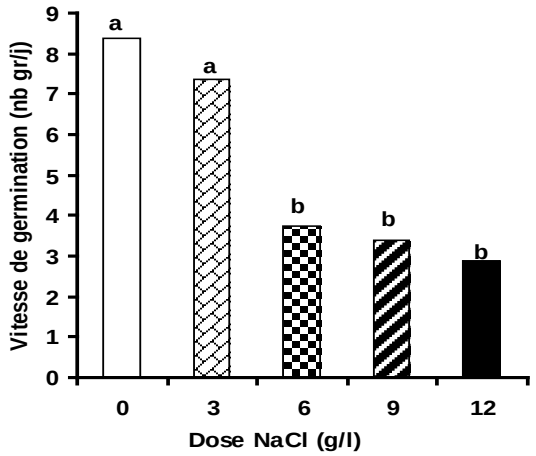


Figure 1. Variation de la vitesse de germination des grains d'orge en fonction du stress salin

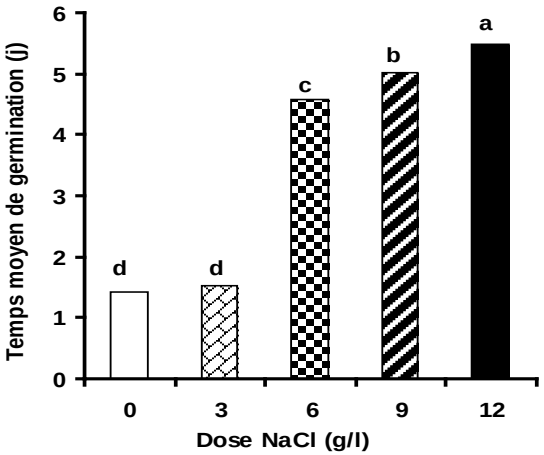


Figure 2. Variation du temps moyen de germination des grains d'orge en fonction du stress salin

3.1.2. Effet de la salinité sur la longueur de l'épicotyle et de la radicule

Les résultats relatifs à la longueur de l'épicotyle montrent une décroissance ($p < 0,01$) de ce paramètre en fonction de l'augmentation des concentrations de NaCl, avec une grande variabilité ($p < 0,01$) entre génotypes d'orge (Tableau 3).

Tableau 3. Analyse de variance relative à l’effet de NaCl sur la longueur de l’épicotyle (LE), la longueur de la radicule (LR) et la vigueur de graines (VIG) des variétés d’orge Rihane et Manel et des lignées 12, 14, 16 et 22

S.V	LE	LR	VIG
Génotypes (G)	0,001**	0,001**	0,001**
Traitement (T)	0,001**	0,001**	0,001**
G x T	0,001**	0,048*	0,01**

*,** Différences significatives au seuil de $p < 0,05$ et $p < 0,01$ respectivement
ns : Différences non significatives au seuil de $p \geq 0,05$

La comparaison multiple des moyennes indique que les témoins Manel et Rihane ont développé la longueur de l'épicotyle la plus élevée, suivis en seconde position par la lignée 14. Alors que les lignées 22, 16 et 12 montrent la longueur la plus faible (Tableau 4). Ce classement a été maintenu sous 3g/l, tout en notant que ce traitement n'a pas induit chez les lignées d'orge une décroissance significative de l'épicotyle à l'exception de la lignée 22. A partir du seuil 6g/l, une réduction significative est perçue, chez les lignées 12, 16, 22, Manel et Rihane avec une réduction respective de l'ordre de 53, 68, 37, 34 et 25%, alors que la lignée 14 montre une longueur statistiquement similaire à celle du témoin. Sous le seuil 12g/l, Rihane montre la croissance en épicotyle la plus élevée suivie de Manel et des lignées 22 et 14, alors que les lignées 16 et 12 développent la plus faible croissance.

Tableau 4. Effet de NaCl sur la longueur de l'épicotyle des lignées d’orge (12, 14, 16, 22) et de Manel et Rihane

NaCl (g/l)	12	14	16	22	Manel	Rihane
0	29.63 hijk	60 c	38.73 fgh	51.32 de	76 ab	78 a
3	25.21 jkl	52.84 cde	33.44 hi	43.3 fg	68.98 b	75 ab
6	13.77 mno	55.46 cde	10,78 nopq	32.5 hij	50 ef	58.25 cd
9	6.17 opq	36 gh	6.82 opq	20 lm	26 ijkl	37.2 gh
12	2.9 q	13 mno	5.24 pq	14 mno	19 lmn	23 kl

NB: *Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.*

Les témoins des lignées 12, 16 et 22 ont montré la longueur de la radicule la plus élevée comparativement à la lignée 14, Manel et Rihane. Comme il a été le cas pour l'épicotyle, la radicule a été significativement inhibée par les doses croissantes de NaCl (Tableau 5). Sous 3g/l, seule la lignée 12 enregistre une réduction significative de la longueur de sa radicule de l'ordre de 34%. Sous 6g/l, les lignées 12, 14, 16 et 22 montrent une réduction significative de leur croissance radiculaire de l'ordre de 33, 27, 28 et 26%, alors que Manel et Rihane maintiennent une croissance similaire aux témoins. Sous 12g/l, Rihane montre la radicule la plus longue (58 mm), alors que la lignée 12 développe la plus faible (19 mm). Les lignées 14, 16, 22 et Manel développent une longueur moyenne de l'ordre de 40 mm.

Tableau 5. Effet de NaCl sur la longueur de la radicule des lignées d’orge (12, 14, 16, 22) et de Manel et Rihane.

NaCl(g/l)	12	14	16	22	Manel	Rihane
0	100 a	77.1 cdef	104 a	102 a	81.9 bcde	9 89 bcd
3	66.17efghij	74.79 defgh	87.32 abcd	97 ab	74 defghi	80bcde
6	67efghij	56.21hijkl	75.37 cdefg	76.45 cdefg	63 fghij	81abcdefg
9	37 lmn	48.41jklm	54.93 ijkl	61.74 fghijk	34 m	75 defg
12	19 n	36 m	44 klm	50.22 jklm	35.33 m	58 ghijk

NB: *Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.*

3.1.3. Vigueur du grain

L'objectif principal du test de la vigueur du grain est de dégager une échelle de qualité (élevée, moyenne ou faible). Ce paramètre est estimé à partir de l'équation considérant le pourcentage de germination, la longueur de l’épicotyle et celle de la radicule. Dans ce sens, les résultats relatifs à ce paramètre leurs sont similaires pour la plus part. Cependant, des différences significatives ont été notées entre génotypes d'orge et doses de sel (Tableau 3). Les témoins de Rihane et Manel et de la lignée 22 ont montré la vigueur la plus élevée, suivie en seconde position par la lignée 16, puis par la lignée 14 et 12 en dernière position (Tableau 6). La salinité a induit une réduction de la vigueur des grains d'orge. Sous 3g/l, tout le matériel végétal testé a montré une vigueur semblable à celles des témoins à l'exception de la lignée 12, dont la vigueur a significativement baissé. Sous 6g/l, la lignée 14 montre une vigueur statistiquement similaire à celle du témoin, alors qu'une dépréciation significative est notée chez les lignées 12, 16, 22, Manel et Rihane. D'autre part la comparaison multiple des moyennes a permis de dégager une différence entre génotypes. La lignée 14 et Rihane ont montré la vigueur la plus élevée, suivies de Manel et de la lignée 22, alors que les lignées 16 et 12 ont développé la plus faible vigueur. Sous le seuil 12g/l, une chute en vigueur est perçue, cependant Rihane se distingue par la vigueur la plus élevée, suivie par la lignée 22. Les lignées 14 et Manel sont en troisième position alors que les lignées 16 et 12 développent la plus faible vigueur.

Tableau 6. Effet de NaCl sur la vigueur de grains des lignées d’orge (12, 14, 16, 22) et de Manel et Rihane

NaCl	12	14	16	22	Manel	Rihane
0	116.31 fghi	125.9 defghi	139.4 bcde	143.7 abcd	153.8 ab	162.7a
3	74.25 j	105.7 i	121.42defghi	129.24 cdefg	139 bcde	150.7abc
6	65.35 jkl	116.8 efghi	78.3 j	107.8 hi	111.3 ghi	134 bcdef
9	35.6 mn	62.2 jkl	47.14 lm	71.9 jk	48.7 lm	107 hi
12	10.3 o	29.2 mn	14.36 no	49 klm	22.1no	76.5 j

NB: *Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.*

4. DISCUSSION

Les résultats montrent une variabilité dans la réponse à la salinité des génotypes d'orge. Le traitement 3g/l n'a pas réduit la germination des lignées testées témoignant de la tolérance de l'orge aux doses modérées de NaCl (Haouala, 1999). Sous les doses plus élevées de sel, la germination a été inhibée mais de manière variable selon le génotype. Les lignées 12, 16 et 22 ont été sensibles au seuil 6g/l alors que la lignée 14, Rihane et Manel ont toléré le seuil extrême 12g/l, dénotant de leur capacité d'adaptation aux seuils élevés de salinité. La vitesse de germination a été la plus rapide chez les témoins et sous le traitement 3g/l NaCl (Figure 1). Par contre sous l'effet des doses plus élevées, elle a considérablement chuté. Il en a été de même pour le temps moyen de germination plus court chez les témoins et sous le traitement 3g/l et s'est ralentit à partir du seuil 6g/l, atteignant un maximum sous 12g/l (Figure 2).Ces résultats concordent avec ceux de Tavil et Biniaz (2009) qui ont montré une inhibition significative de la germination de l'orge sous des doses élevées de sel. L'augmentation de la concentration saline au stade germination souvent induit une élévation de la pression osmotique du milieu et /ou une toxicité qui peut réduire ou retarder la germination (Waisel, 1972). D'autre part, une grande variabilité a été notée entre lignées et traitements pour la croissance de l'épicotyle et de la radicule. La lignée 14, Manel et Rihane ont montré la longueur de l'épicotyle la plus élevée par comparaison aux lignées, 12, 16 et 22, dénotant d'un plus fort potentiel de croissance sous des conditions optimales. L'addition des doses croissantes de NaCl a inhibé la germination des grains en provoquant un retard dans l'appartion de l'épicotyle (Tableau 4). Le traitement 6g/l a réduit cette croissance chez toutes les lignées à l'exception de la variété 14. Une grande variabilité entre lignées a été notée pour la longueur de la radicule. A l’inverse de croissance au niveau de la partie aérienne, la croissance racinaire des témoins des lignées 12, 16 et 22 a été plus élevée que celle de la lignée 14, Manel et Rihane (Tableau 5). Ces lignées semblent favoriser la croissance racinaire aux dépens de celle aérienne qui peut s’avérer comme moyen d’adaptation aux conditions de déficit hydrique. Par

ailleurs, la croissance racinaire de Rihane n'a pas été inhibée sous 6g/l, témoignant de sa plus grande aptitude à exploiter les éléments nutritifs du milieu pour la production de matière sèche. Tel comportement explique sa large utilisation dans les conditions arides et semi-aride du pays.
La vigueur exprime la qualité du grain à travers un test de la germination et des performances du grain (croissance racinaire et aérienne) (Rattan, 1998). Ce test de vigueur a montré la sensibilité de la lignée 12 à la dose modérée 3g/l. La vigueur de la lignée 14 n'a pas été altérée sous 6g/l NaCl, ce qui n'a pas été le cas de Manel et Rihane et des lignées 16 et 22. Cependant la comparaison entre lignées sous ce seuil de salinité a montré que Rihane et la lignée 14 avaient la même vigueur. Le seuil extrême 12g/l a permis d'affiner la comparaison entre lignées où Rinane montre la meilleure vigueur, alorsque la lignée 14 et Manel montrent une vigueur comparable.

5. CONCLUSION

Une variabilité dans la réponse à la salinité a été mise en évidence par les lignées d’orge. Elles ont toléré la dose modérée 3g/l à l’exception de la lignée 12. Au-delà de ce seuil des différences significatives de comportement ont été notées. Rihane, Manel et la lignée 14 ont montré de bonnes performances comparativement aux lignées 16 et 22. Sous 6g/l, la lignée 14 et Rihane ont montré une vigueur comparable mais supérieure à celle de Manel et des lignées 16 et 22. Ces résultats sont prometteurs dans la mesure où la lignée 14 présente une tolérance à la salinité, en plus de sa résistance au BYDV (Najar, 2009).
La réponse des grains à la contrainte saline au stade germination pourrait être un indicateur de la tolérance des plantes au sel pour les stades ultérieurs de développement. Cependant, il est impératif d’envisager des expérimentations en plein champ, sous des conditions environnementales contraignantes, couvrant des stades plus avancés du développement afin d’évaluer l’impact de la salinité sur le rendement agronomique de ces nouvelles lignées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Abassi M., Najar A., Ben Ghanem H., Rezgui S., et Albouchi A. (2012) : Comportement vis-à-vis du stress salin de lignées d'orge sélectionnées pour leur résistance au BYDV en Tunisie. *Revue des régions arides*. **29, 3, 3-13.**
-Abassi M., Albouchi A., Ben Mansoura A., Béjaoui Z., Rejeb M.N. et Mougou A. (2004) : Tolérance de divers clones de peupliers à la salinité. *Annales de L’INRGREF*, 6,17-34.
-Abdul-Baki, A.A et Anderson J.D. (1973) :Vigour determination in soybean seed by multiplication. *Crop Science*, 3, 630-633.
-Brenchley L.L., Probert R.J. (1998) : Seed germination responses to some environmental factors in the sea grass Zoostera capricorni from eastern Australia. *Aquat.Bot* 62, 177-188.
-Hachicha M., Job J.O., Mtimet M. (1995) : Sols irrigués et sols sodiques. Les sols salés et la salinisation en Tunisie. *Sols de Tunisie*, Bulletin de la Direction des sols. 15,341p.
-Hachicha M., Braudeau E. (1998) : Irrigation et salinisation en Tunisie. *Sols de Tunisie*., 18: 3-11.
-Hajji M., Lachaal M., Soltani A., et Grignon C. (2001) : Large accumulation of sodium in leaves may be compatible with normal growth. W. J. Horst et al. (Eds), *Plant- nutrition* - Food security and sustainability of agro- ecosystems. 416-417
-Haoula R. (1999) : *Effets du NaCl sur la croissance, les caractéristiques hydriques et les activités photochimiques et enzymatiques d’un blé dur et d’une orge cultivée.* Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques. Univ Tunis, 231p.
-Waisel Y., (1972) : Biology of Halophytes. Academic Press, New York and London.
-Rattan L.A., (1998) : Seed technology. LTD. Oxford, New Delhi, 829p.
-Najar, A., (2009) : *Le virus de la jaunisse nuisance de l’orge BYDV. Importance, Caractérisation moléculaire et integration dans la sélection de lignées d’orge résistantes.* Thèse de doctorat en sciences agronomiques ; INAT 240p.
-Munns R., (1993) : Physiological process limiting plant growth in saline soils some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environment*. 16:15-24
-Tavil A., et Biniaz M., (2009) : Different salt effetcs on the germination of *Hordeum Vulgare* and *Hordeum bulbosum*. *Pakistan Journal of Nutrition*. 8 (1), 63-68.

Etude de la qualité des eaux souterraines dans la région d’ouled chamekh

M’nassri Soumaia[1], Majdoub Rajouene[1], Dridi Lotfi[1],Mansour Mohsen[2], Hchicha Mohamed[3]
[(1)]*Département du Génie des Systèmes Horticoles et du Milieu Naturel, Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem, BP 47, 4042 Chott Mariem, Tunisie*
[(2)]*Centre Régional de Recherche en Horticulture et Agriculture Biologique, BP 57, 4042 Chott Mariem, Tunisie*
[(3)]*Institut National de Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts, BP 10, 2080 Ariana, Tunisie*
mnassrisoumaya@hotmail.com

RESUME
L’accès limité aux ressources hydriques, en qualité, est l’un des principaux facteurs freinant le développement. Ces ressources sont confrontées au risque des facteurs d’origines naturelle et anthropique convergents qui ont induit leurs dégradations. Dans ce contexte, la salinisation est l’une des principales causes de la dégradation de la qualité des eaux souterraines. Cette salinisation est de plus en plus accentuée dans les régions arides et semi-arides dont les ressources en eaux douces sont limitées. Le présent travail s’inscrit dans la lignée de suivre l’évolution géochimique de la qualité des eaux de la nappe phréatique de la région d’ouled chamekh par la détermination des concentrations en ions majeurs. Les résultats obtenus ont montré, entre autres, que la salinité des eaux est élevée et variable dans l’espace. La conductivité électrique oscille entre 4,43 et 10,30 mS/cm avec une concentration décroissante de l’amont vers l’aval suivant le sens d’écoulement des eaux souterraines. Les analyses ont montré que les ions les plus dominants sont le chlorure et le sodium pour donner deux faciès géochimiques dans la région. La partie Ouest est caractérisée par un faciès chloruré sodique et la partie Est est caractérisée par un faciès chloruré sulfaté.
Mots clés : Eaux souterraines, faciès géochimique, ouled chamekh, salinité.

SUMMARY
The limited water resource, with good quality, is one of the main factors hindering the development. These resources are facing the natural and anthropogenic risk inducing their degradation. In this context, the salinization is one of the main causes of the degradation the groundwater quality. This salinization is largely widespread, especially, in arid and semi arid regions where freshwater is limited. This work aims to follow the geochemical evolution of the groundwater quality of the ouled chamekh region by the determination of their concentrations on major ions. The results show, among others, that salinity is generally high and variable with time.The electrical conductivity varied between 4.43 and 10.30 mS/cm with a decreasing concentration from the upstream to the downstream, following the groundwater flow direction. In addition, this study reported that the most dominant ions are chloride and sodium which gave two geochemical facies in the region. The western part is characterized by a sodium chloride facies and the eastern part is characterized by a sulphate chloride facies.
Key words: Groundwater, geochemical facies, ouled chamekh, salinity.

1. INTRODUCTION

Ces dernières années, les ressources hydriques souterraines sont devenues un sujet de préoccupation à l’échelle planétaire à cause de plusieurs facteurs notamment l’exploitation intensive générée par l’accroissement démographique et le développement agricole et industriel (Tao *et al*. 2013). En effet, cette exploitation convergeant avec les changements climatiques induisent une menace sur la pénurie, des eaux souterraines, d’une part et sur la détérioration de leur qualité, d’autre part (Yidana *et al.* 2010). Selon Trabelsi *et al.* (2005), la dégradation de la qualité des eaux souterraines est généralement exprimée par la contamination et la salinisation. Cette dernière est générée par plusieurs fléaux à savoir l’utilisation excessive des engrais chimiques (Eldrige *et al.* 2009), les effluents industriels et domestiques, etc. Dans certains cas, la salinité résulte d’une intrusion de l’eau de mer causée par la surexploitation des ressources hydriques souterraines (Bourhane 2010). L’intrusion touche également les zones côtières ayant un climat à dominance aride et semi aride comme le cas de la Tunisie (Ben Hammouda *et al.* 2013).
Les zones côtières sont, généralement, surpeuplées avec des terres fertiles et des activités agricoles irriguées diversifiées. Ainsi, l’exploitation anarchique et abusive des eaux souterraines a conduit, dans certains cas, à l’intrusion marine (Werner *et al.* 2013). Dans ce contexte, les recherches traitant la

qualité des eaux sont nombreuses (Hamed et Dhari (2013), El Yaouti *et al.* (2009), Alcalà et Custodio (2008), etc.). Ces recherches ont expliqué, à traves les études hydro-chimiques, que la salinisation des eaux souterraines se manifeste par l'augmentation des matières totales dissoutes et des constituants chimiques spécifiques tels que le chlorure, le sodium, le magnésium, le nitrate et le sulfate. En effet, les études hydro-chimique des eaux ont pour but d’identifier les faciès chimiques des eaux, leur degré de potabilité, ainsi que leur aptitude à l’irrigation. Elles permettent de suivre aussi l’évolution spatiale des paramètres physiques et chimiques et d’estimer leur origine en les corrélant avec les faciès lithologiques (El Hammoumi *et al.* 2012).
Dans ce cadre, l‘objectif de ce travail porte sur la caractérisation de la qualité des eaux souterraines de la région d’ouled chamekh. Les paramètres physico-chimiques sont ainsi examinés afin de déterminer les facteurs et les mécanismes contrôlant la chimie des eaux souterraines.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Zone d’étude

La zone d’étude est la nappe souterraine de Sid El Hani de la région d’ouled chamekh. Cette dernière est située au Centre-Ouest du Gouvernorat du Mahdia (Figure 1). Elle est limitée au Nord-Est par sebkhat Sidi El Hani, au Nord-Ouest par le Gouvernorat de Kairouan et au Sud-Est par la délégation de Souassi. Cette région se caractérise par un climat aride dont les précipitations sont variables dans le temps et dans l’espace. Elles atteignent une moyenne de l’ordre de 238 mm/an. La température moyenne mensuelle est de l’ordre 20°C, alors que la vitesse du vent dépasse assez souvent 20 m/s.

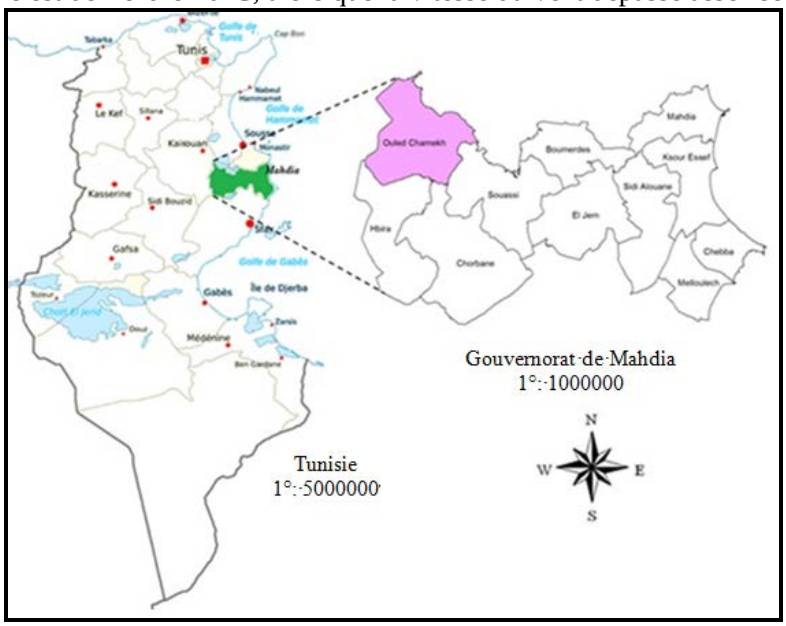


Figure 1. Localisation de la zone d’étude

2.2. Méthodologie

Quatre campagnes d’échantillonnage d’eau ont été effectuées sur 29 puits couvrant la zone d’étude. Le prélèvement a été effectué, selon la norme ISO 5665, dans des bouteilles en plastiques identifiées et conservées au froid (2 à 4°C) pour l’analyse des paramètres chimiques. Les paramètres analysés sont la conductivité électrique (CE), le pH, le résidu sec (RS) et les éléments majeurs (Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+, SO_4^{2+} et HCO_3^-).
La mesure de la CE a été réalisée par la méthode de Richard à l’aide d’un conductimètre et celle du pH par la méthode éléctrométrique à l’aide d’un pH mètre à lecture directe. Pour les éléments majeurs, les méthodes utilisées sont : la colorométrie pour le sulfate, la Titrémétrie pour le chlorure et le bicarbonate, et la spectrophotométrie pour le sodium, le calcium et le potassium.
Les coordonnées géographiques (X, Y, Z) de chaque point d’eau ont été mesurées à l’aide d’un GPS (Global Positionning System). Ces coordonnées ont été la base des données traitées par le logiciel ArcView afin de déterminer la répartition spatiale des éléments chimiques analysés. La figure 2 présente la localisation des puits prélevés.

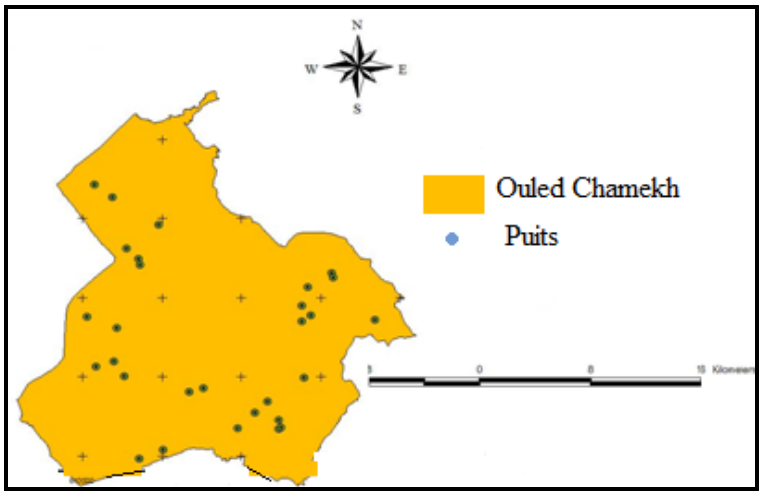


Figure 2. Localisation des puits

Les diagrammes de Piper, de Pheereq, et de Riverside ont été utilisés pour l’étude hydrochimique des eaux. Le diagramme de Piper est utilisé pour définir le faciès type des eaux. Celui de Pheereq permet le calcul de l’indice de saturation dans les eaux souterraines en fonction du TDS (taux des matières dissoutes) pour déterminer l’origine de la salinité. Alors que le diagramme de Riverside permet d’étudier la qualité des eaux souterraines en vue de l’usage agricole

3. RESULTATS

3.1. Paramètres physiques

Le pH des eaux souterraines de la région d’ouled chamekh est légèrement basique oscillant entre 7,74 et 8,10 avec une moyenne de 7,95 et un coefficient de variation proche de zéro, ce qui indique une variabilité très faible pour les eaux souterraines. Pour la CE, elle oscille entre 4,43 et 10,30 mS/cm avec une concentration décroissante de l’amont vers l’aval suivant le sens d’écoulement des eaux souterraines, soit du Sud-Ouest vers le Nord-Est (direction sebkhat Sidi El Hani). La figure 3 montre, respectivement, l’évolution de la CE en fonction du rapport carbonates/évaporites et du rapport chlorure/sulfates. Cette évolution a dévoilé que la CE se trouve influencée tant par les évaporites que par les carbonates et par les chlorures que les sulfates.

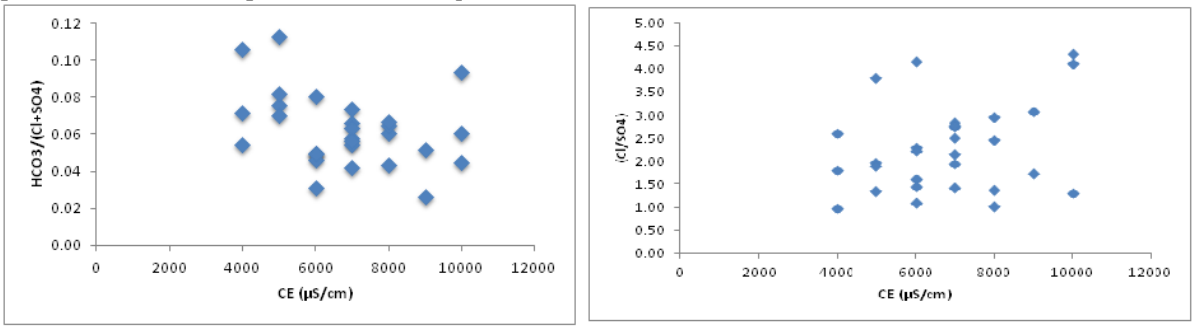


Figure 3. Evolution de la CE en fonction du rapport carbonate/évaporite et chlorure/sulfate

3.2. Faciès chimique

Le diagramme de Piper nous a permet d’estimer les pourcentages des éléments chimiques et leur classification. D’après ce diagramme, on remarque que 50% des puits ont un faciès géochimique chloruré sodique et 50% ont un faciès géochimique chloruré sulfaté (Figure 4).

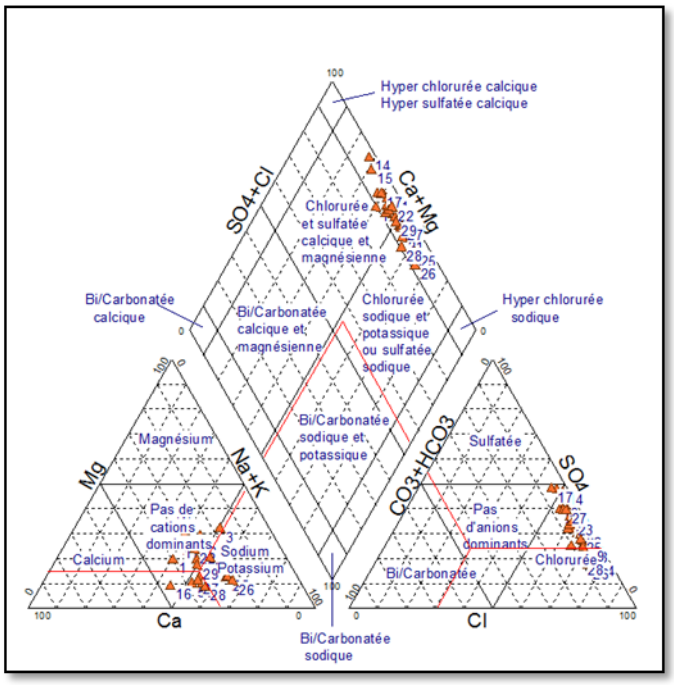


Figure 4. Diagramme de Piper

3.3. Répartition spatiale des éléments chimiques en ions majeurs

Le résultat des analyses des eaux souterraines en ions majeurs montre que le sodium est le cation le plus dominant avec des teneurs variant de 25 à 100 meq/l. D’après la figure 5a, la concentration en sodium augmente en se rapprochant de Sebhkat de Sidi El Hani contrairement à l’Est de la zone d’étude où la concentration diminue pour atteindre sa valeur minimale. Par ailleurs, la teneur en potassium mesurée (Figure 5b) est faible par rapport aux autres cations où les concentrations varient entre 0,29 et 6 meq/l. Ainsi, la zone d’étude peut être scindée en deux zones ; une à l’Ouest avec des concentrations supérieures à 0,43 meq/l et une autre à l’Est avec des concentrations comprises entre 0,29 et 0,43 meq/l. Concernant le calcium, la teneur varie entre 19,8 et 66,8 meq/l (Figure 5c). Ce dernier a une tendance de présenter une répartition inverse à celle du potassium. Ceci montre bien que la partie Ouest est caractérisée par des eaux plus chargées en calcium que la partie Est de la région d’ouled chamekh. Pour le magnésium, la répartition est caractérisée par une variabilité moyenne. Elle est comprise entre 18,4 et 31,5 meq/l à l’exception des zones Nord-Ouest et Sud-Ouest où la concentration varie entre 5 et 18 meq/l (Figure 5d). La zone Est et la zone Ouest contiennent des eaux souterraines très chargées en chlorures (Figure 5e). La partie centrale contient des eaux souterraines dont la teneur en chlorures ne dépasse pas la concentration moyenne (55 meq/l).Les chlorures ont une tendance de minéralisation très forte avec la conductivité électrique. La concentration en ions sulfates est caractérisée par des teneurs élevées. Elle varie de 10,90 à 67 meq/l avec une valeur moyenne de 27,8 meq/l. Pour les bicarabonates, la figure 5g montre de très faible quantité. Ils varient entre 2,6 et 7 meq/l avec une valeur moyenne de 4,8 méq/l.

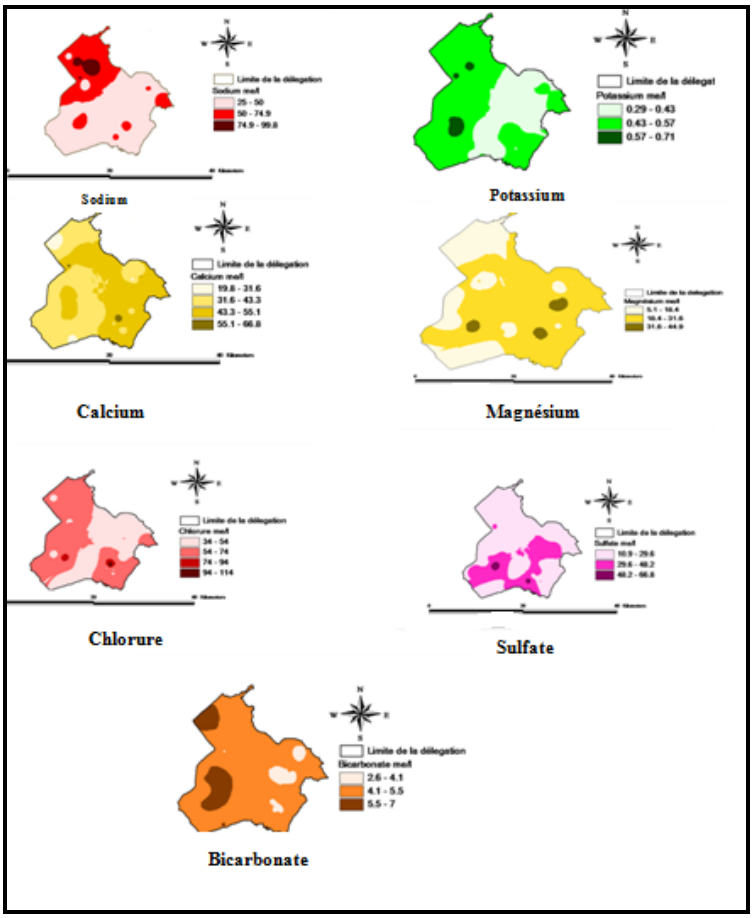


Figure 5. Répartition spatiale des éléments chimiques en ions majeurs

3.4. Indice de saturation

L’indice de saturation calculé exprime le degré d’équilibre chimique entre l’eau et le minéral dans la matrice de l’aquifère et peut être considéré comme une mesure du processus de dissolution et/ou précipitation concernant l’interaction eau-roche. L’utilisation du programme du Pheereq nous a permis de calculer les indices de saturation de la calcite, de l’aragonite, de la dolomite, du gypse, de l’anhydrite, et de l’halite.

Les résultats significatifs de tous les échantillons d’eau souterraine illustrés dans le tableau 1 montrent que ces derniers sont saturés en calcite, en dolomite, et en aragonite, mais ils sont plutôt sous-saturés en ce qui concerne l’halite, le gypse, et l’anhydrite. Les échanges cationiques entre les argiles calciques (échangent du calcium contre le sodium et le magnésium) génère la saturation des eaux par rapport à la calcite, aragonite et dolomite. Ainsi, les argiles, au cours de leur genèse, peuvent retenir une quantité des sels qui peuvent être repris par les eaux souterraines. Le phénomène de dissolution étant dépendant du degré de saturation des eaux vis-à-vis des minéraux.

Tableau 1. Indice de saturation dans les eaux souterraines

Variable	Min	Max	Moyenne
Is Halite	-4,85	-3,95	-4,44
Is Gypse	-0,75	-0,01	-0,30
Is Dolomite	2,20	2,69	2,43
Is Calcite	1,02	1,45	1,24
Is Aragonite	0,9	1,28	1,04
Is Anydrite	-0,96	-0,38	-0,54

3.5. Etude de la qualité des eaux souterraines en vue d’usage agricole

L’analyse du Taux de Sodium Absorbé (SAR) pour tous les échantillons analysés montre que 62% des

puits ont un SAR faible (<10) et 38% ont un SAR moyen (10 <SAR< 20). L’évaluation du degré d’alcalinisation et de sodicité est faite suivant le diagramme de Riverside. Les résultats obtenus, affirment que la qualité des eaux d’irrigation est médiocre à mauvaise, ce qui implique un risque de salinité élévé alors que le risque alcalin reste dans certains cas assez modéré (Figure 7).

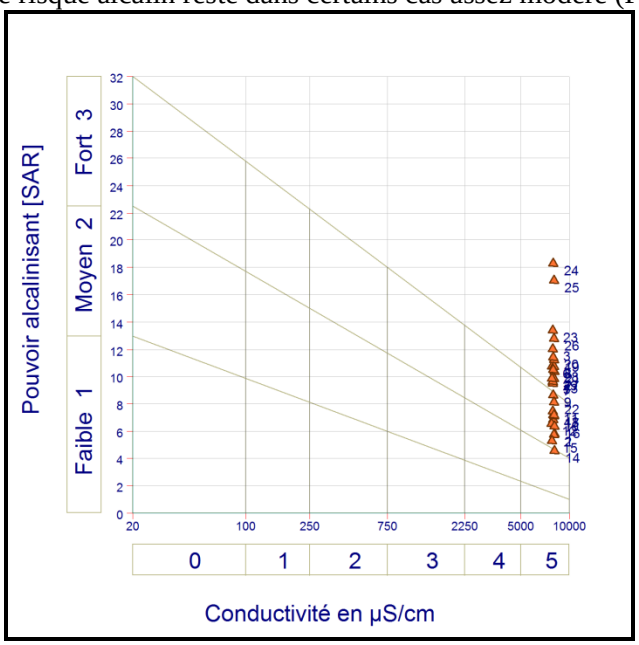


Figure 7. Diagramme de Riverside

4. CONCLUSION

Afin de mettre en évidence l’origine de la minéralisation des eaux souterraines de la nappe phréatique de la région d’ouled chamekh une étude hydrochimique a été élaborée. Ainsi, pour identifier les éventuelles dissolutions des minéraux responsables de la minéralisation, les relations entre le résidu sec et les éléments chimiques majeurs d’une part, et les relations entre ces éléments, d’autre part, ont été examinées. Les résultats ont dévoilé que la composition chimique des eaux souterraines est largement chargée en anions Cl^- et SO_4^{2-} et en cation Na^+. Par contre, les éléments $HCO3^-$ et K^+ ne sont présents qu’en très faible pourcentage. De plus, un gradient croissant de la salinité a été noté du Sud-Ouest vers le Nord-Est (direction sebkhat Sidi El Hani). Le diagramme de Piper a montré qu’il y a deux faciès géochimiques dominants; le faciès chloruré sodique dans la partie Est et le faciès chloruré sulfaté dans la zone Ouest. L’utilisation de l’indice de saturation nous a permis de comprendre le processus de la minéralisation des eaux. Cette dernière proviendrait de la dissolution-précipitation de la roche aquifère, des évaporites et de l’échange de base. Ainsi, cette minéralisation présente une contrainte pour l’activité agricole. Elle peut engendrer la destruction de la structure des sols et la dégradation de sa qualité due au caractère alcalin des eaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Alcalà J.F, Custodio E. (2008) : Using the Cl/Br ratio as a tracer to identify the origin of salinity in aquifers in Spain and Portugal,*Journal of Hydrology,* **19**, 189-207.

-Ben Hammouda M.F, Carreira P, Marques J.M, Egenkamps H. (2013) : Geochimical and isotopic investigation to study the origin of mineralization of the coastal aquifer of Sousse, Tunisia, *Earth and Planetary Science*,**4,** 61-64.

-Bourhane A. (2010) : Discrimination de l’origine de la salinité des masses d’eau souterraines : contexte hydrogéologique et méthodes d’étude. Mastère en Hydrogéologie, sol et environnement, Université d’avignon, 109 p.

-Eldrige K.Y, Barchia I, Pengelly P.K, Katupitiya S, Davis J.K. (2009) : A comparison of surface applied granulated biosolids and poultry litter in terms of risk to runoff water quality on turf farms in Western Sydney, Australia, *Agriculture, Ecosystems and Environment,* **8,** 243-250.

-El Hammoumi N, Sinan M, Lekhlif B, El Mahjoub L. (2012) : Évaluation de la qualité des eaux souterraines pour l’utilisation dans l’eau potable et l’agriculture : plaine de Tadla, Maroc, *Afrique Science*, **13**, 201-221.
-El Yaouti F, El Mandour A, Khattach D, Benavente J, Kaufmann O. (2009) : Salinization processes in the unconfined aquifer of Bou-Areg (NE Morocco): A geostatistical, geochemical, and tomographic study, *Applied Geochemistry*, **19,**16-31.
-Hamed Y, Dhari F. (2013) : Hydro-geochemical and isotopic composition of groundwater, with emphasis on sources of salinity, in the aquifer system in Northwestern Tunisia, *Journal of African Earth Sciences,***15,** 10-24.
-Nazli I.E, Achour S, Djarbi L. (2007) : Approche géochimique des processus d’acquisition de la salinité des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l’oued M’ya (Ouargla), LarhyssJournal, 14p.
-Tao P, Yuanqing H, Tao Z, Jinkui W, Guofeng Z, Chang L. (2013) : Isotopic and geochemical evolution of ground and river waters in a karst dominated geological setting: A case study from Lijiang basin, South-Asia monsoon region, *Applied Geochemistry,***14**, 199-212.
-Trabelsi R, Zairi M, Smida H, Ben Dhia H. (2005) : Salinisation de nappes côtières : cas de la nappe Nord du Sahel de Sfax, Tunisie, *Géoscience de surface : (Hydrologie et Hydrogéologie),* **10,** 515-524.
-Yidanas S.M, Banoeng-Yabubo B, Akabazaa T.M. (2010) : Analysis of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in the Keta basin, Ghana, *Journal of African Earth Science,***15,** 220-243.
-Werner A.D, Bakker M, Post V, Vandenbohede A, Lu C, Ataie- Ashtiani B, Simmons C.T, Bary A.D. (2013) : Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges, *Advances in water Resources*, **12**, 3-36.

Aptitude à l’exploitation fourragère du sorgho (*Sorghum vulgarea* L.) dans les conditionsdu sud tunisien

Nesrine Aissa et Leila Radhouane
Institut National de la Recherche Agronomique de Tunis
Avenue Hédi Karray, 2049 Ariana, Tunisie
Email : nesrine.aissa@hotmail.fr

RESUME

L’eau, élément précieux, n'est pas toujours disponible en quantité suffisante pour les plantes qui poussent dans les régions arides et semi-arides. Ces zones sont, de plus, caractérisées par des ressources hydriques de qualité médiocre (saumâtre) d’où la situation contraignante dans laquelle elles vont se retrouver. En effet, les plantes seraient exposées d’une part à un stress hydrique et d’autre part, elles vont devoir affronter la salinité. Ces deux facteurs sont considérés parmi les plus limitant de la croissance et du développement végétatif des plantes. Face à ces conditions difficiles, et aussi face à l’explosion démographique mondiale, il y a lieu d’assurer la sécurité alimentaire aussi bien pour l’homme que pour le bétail. Parmi les solutions proposées, celle de rechercher des plantes pouvant faire face aux contraintes abiotiques et aussi qui pourraient assurer un revenu aux agriculteurs. Dans ce contexte, le sorgho *(Sorghum vulgare l.)* plante rustique cultivée dans plusieurs régions tropicales et utilisée pour l'alimentation humaine et animale, pourrait répondre à ces objectifs. A cet égard, l'aptitude à l'exploitation fourragère du sorgho a été étudiée en plein champ. Le dispositif expérimental comporte cinq traitements: un témoin (100% ETM), deux régimes hydriques (70% ETM et 35% ETM) et deux régimes salins (3g/l et 6g/l).

Les paramètres agronomiques mesurés concernent tous l'aspect végétatif pouvant être exploité comme fourrage en vert (nombre de talles, nombre de feuilles et leurs dimensions, teneur en chlorophylle..).Les résultats ont montré que l’application de stress hydrique modéré a diminué légèrement la hauteur de la tige et la teneur en chlorophylle des feuilles. Au contraire, lorsque le manque d’eau est très sévère, tous les paramètres mesurés ont subi une réduction.Pour la contrainte saline aussi bien modérée que sévère, une amélioration des dimensions des feuilles et du tallage a été observée. Cependant, le nombre et la teneur en chlorophylle des feuilles ont accusé une légère baisse. Ces résultats sont encourageants car ils permettent de valoriser le sorgho sur le plan fourrager dans les conditions difficiles du sud tunisien surtout dans le contexte actuel du changement climatique.

Mots clés : exploitation fourragère, sorgho, sud tunisien.

SUMMARY

Water, a precious element, is not always available in sufficient quantity for plants in arid and semi-arid regions. These areas are, moreover, characterized by water poor quality resources (brackish) and plants are exposed to stressful situations. First, plants would be exposed to increased water stress and secondly, they will be face on salinity. These two factors are considered the most limiting vegetative growth and development of plants. Faced with these difficult conditions, and also facing the global population explosion, it is necessary to ensure food security for both humans and livestock. Among the solutions proposed is the search for plants that can cope with abiotic stresses and also could provide an income to farmers. In this context, sorghum (*Sorghum vulgarea l.*) Hardy plant grows in many tropical regions and used for food and feed, could achieve this objective.

Experimental design includes five treatments: control (100% ETM), two water regimes (70% and 35% ETM ETM) and two salt treatments (3 and 6g/ l). Agronomic parameters measured all vegetative aspects that can be used as green fodder (number of tillers, leaf number and size of chlorophyll ...).The results showed that the application of moderate water stress decreased slightly the height of the stem and leaf chlorophyll content .In contrast, when water treatment is very severe, all the parameters have been reduced. For salinity, as well as moderately or severe, improved dimensional leaves and tillering was observed. However, the number and chlorophyll content of leaves showed a slight decline. These results are encouraging because they can enhance the sorghum forage level in the difficult conditions of southern Tunisia especially in the current context of climate change.

Keywords: feed, sorghum, south of Tunisia.

1. INTRODUCTION

Pour une meilleure valorisation des ressources fourragères tunisiennes, l’identification de plantes tolérantes aux sels et à la contrainte hydrique permettrait certainement d'améliorer la production surtout en zones à risque comme les régions arides du sud tunisien où la pénurie d'eau et la forte évaporation affectent l’équilibre des sels dans le sol (Hachicha, 2000). Cette situation critique pousse les chercheurs à trouver des solutions pratiques telle des cultures moins gourmandes en eau et valorisantes des sols marginaux (Cornic et Massacci, 1996). Parmi ces plantes, lesorgho *(Sorghum vulgarea .L)* céréale rustique de la famille des Poacées possédant un métabolisme de type C_4 lui conférant une bonne efficacité photosynthétique et un cycle court d’environ 120 jours peut répondre à ces objectifs. En effet, grâce à son appareil racinaire important et profondément ancré dans le sol, elle peut puiser l’eau souterraine pour assurer son bon développement dans un environnement souvent hostile (FAO, 1997). De plus, cette culture estivale, contrairement à la plupart de nos espèces fourragères, qui sont des graminées de saison froide, a des besoins faibles en eau (Marsalis et al., 2010), valorise les eaux saumâtres (Saberi et al., 2011). Et permet d’obtenir un volume important de fourrages en vert en été et en début d’automne (Edwards et al.2001). Le sorgho possède aussi une grande capacité de reprise du développement végétatif après les coupes (Jahanzad et al., 2013). Toutes ces qualités lui confèrent un avantage considérable par rapport à d’autres cultures céréalières dans les régions semi-aride et arides (Sairam et al. 2001; Jahanzad et al., 2013). A cet effet, la présente étude a pour objectif d'évaluer l‘effet d'une contrainte hydrique et saline sur quelques caractères morphologiques et physiologiques d'une variété de sorgho très cultivée en Tunisie et pouvant être exploitée comme fourrage en vert.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériel végétal

L’essai a porté sur une variété de sorgho (Sudan Grass III) importée.

2.2. Méthodologie

L’expérimentation a été réalisée au champ sous une parcelle grillagée à la station expérimentale de l’INRAT (Institut Nationale de la Recherche Agronomique de Tunis).

Le dispositif expérimental est en Split-splot à 2 facteurs avec 3 répétitions.

Les traitements appliqués pour le stress hydrique sont :

T_0: témoin irrigué à 100% ETM

T_{70}: traitement irrigué à 70% ETM.

T_{35}: traitement irrigué à 35% ETM.

(ETM= 600mm et la charge en sel est de 1g/l= eau de robinet)

Les traitements appliqués pour le stress salin sont:

T_0: témoin irrigué à l’eau douce titrant 1g/l (100% ETM)

T_3: traitement T_0 auquel nous avons ajouté 2g/l pour avoir une concentration de 3g/l.

T_6: traitement T_0 auquel nous avons ajouté 5g/l pour avoir une concentration de 6g/l.

Les paramètres sont mesurés aux stades floraison et maturité et concernent:

la hauteur de la tige principale (HAT) en cm (mesurée à l’aide d’une règle graduée à partir du plateau de tallage jusqu'à l’insertion de l’épi).

le nombre de talles basales par feuille à maturité (NTB).

le nombre total de feuilles par plante (NTF).

la longueur de la feuille drapeau (LOD) en cm.

la largeur de la feuille drapeau (LAD) en cm.

l'indice chlorophyllien (ICH) mesuré par le SPAD (Soil Plant Analysis Development).

L'analyse statistique a été réalisée par le logiciel Statistica 8. Toutes les mesures ont été répétées trois fois. Les résultats ont été soumis à une analyse de la variance à un facteur et les moyennes ont été comparées selon la méthode de Newman et Keuls. Chaque moyenne est affectée d’une lettre. Les moyennes suivies d’une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de probabilité 5 %.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Pour estimer la tolérance de la variété de sorgho aux différents stress, il a été procédé à des mesures morphologiques concernant les parties vertes du végétal et aussi à la mesure de la teneur chlorophyllienne renseignant sur la qualité du fourrage en vert. Les résultats statistiques relatifs aux différents paramètres suivis sont résumés dans le tableau 1.

Tableau 1. Tableau récapitulatif des valeurs moyennes des différents paramètres mesurés

Traitement / Paramètre	T_0	T_{70}	T_{35}	T_3	T_6
HAT (cm)	217b	200c	129d	199c	244a
NTB (plante)	1b	2ab	1b	2ab	2ab
NTF (plante)	12a	11a	8c	9b	10b
LOD (cm)	47ab	44ab	35c	42b	48a
LAD (c)	6a	5b	4c	5b	6a
ICH	55a	48b	34c	41b	43b

HAT= hauteur en cm; NTB= nombre de talles par plante; NTF= nombre de feuilles par plante; LOD= longueur des feuilles en cm ; LAD= largeur des feuilles en cm; ICH= teneur en chlorophylle par Spad

T_0 : témoin irrigué à 100% ETM; T_{70} : traitement irrigué à 70% ETM; T_{35} : traitement irrigué à 35% ETM; T_3: T_0 plus 2g/l pour avoir une concentration de 3g/l.; T_6: T_0 plus 5g/l pour avoir une concentration de 6g/l.

3.1. Effet de stress hydrique et salin sur la hauteur de la tige

Les traitementshydrique et salin modérés ontlégèrement raccourci les tiges (environ 9%) alors que la contrainte hydrique sévère a diminué la taille de la plante d’environs 40%. En revanche, le traitement salin sévère a amélioré la hauteur de la plante de 28% (Tableau 1).

3.2. Effet de stress hydrique et salin sur le nombre de talles basales

Ce paramètre estimé à la maturité a montré que les plantes ont réagi de la même manière face aux différents stress et le nombre de talles par plante n'a pas varié de façon significative (Tableau 1).

3.3. Effet de stress hydrique et salin sur le nombre de feuilles par plante

Le stress hydrique modéré n’a pas touché le nombre de feuilles par plante alors que l’irrigation très déficitaire a réduit ce nombre de 33%. Par contre, la salinité qu'elle soit modérée ou sévère a diminué de 16% seulement ce nombre, soit la moitié de la réduction opérée avec la contrainte hydrique (Tableau 1).

3.4. Effet de stress hydrique et salin sur les dimensions de la feuille drapeau

Seule la dose très restrictive a agi sur les feuilles en les rendant plus courtes (perte de 25%) et moins larges (perte de 33%). Le sel n'a eu aucun effet sur la dimension des feuilles (tableau 1).

3.5. Effet de stress hydrique et salin sur l’indice chlorophyllien

Sous les stress hydrique et salin modérés ainsi qu'en présence de salinité sévère,la teneur en chlorophylle a légèrement baissé (entre 13 et 20%). Au contraire, lorsque le manque d’eau est très sévère, l'indice chlorophyllien a chuté de 38% (Tableau 1).

4. DISCUSSION

Les facteurs environnementaux (sécheresse, salinité,…) représentent pour les plantes autant de facteurs de stress qui peuvent limiter leur croissance végétative (Vadel, 1999). En effet, l'application d'une contrainte hydrique sévère a raccourci la tige principale de la plante. En revanche, un faible déficit hydrique n’a pas eu de conséquence notable sur la croissance végétative en hauteur de la plante. La réduction de la hauteur des plantes par un manque d’eau a été signalé par de nombreux auteurs sur des plantes voisines du sorgho dont la canne à sucre (Crépin et al., 2001), le maïs (Cakir, 2004) et le mil (Radhouane, 2006).

La stimulation en longueur de la tige du sorgho observée suite a l’application d’un régime salin de a été déjà signalée par Netondo et al. (2004). Elle serait due, d’après cet auteur à l’effet bénéfique de Na^+ sur l’expansion cellulaire. De même, Amazallag et al. (1999) ont mentionné que l’accumulation

des hormones de croissance tel l'ABA, en réponse au sel, est responsable à l'accélération de croissance chez le sorgho.

L'aptitude à produire un nombre élevé de talles varieen fonction des caractéristiques variétales que des conditions de culture. Ces talles sont d'une importance capitale puisque elles participent comme les feuilles basales, au « turn over »de certains nutriments. Elles permettent en outre un ajustement de la production aux ressources disponibles, réduisent les pics de demandes et participent aux stratégies d'évitement en cas de sécheresse (Lambert 1983 ; Gerik, 1990; Radhouane 2006). Nos résultats ont montré que le nombre de talles n'a pas varié de façon très significative quelque soit le stress appliqué. Un tel résultat a été mentionné par Radhouane (2006) sur le mil.

La feuille est l'organe le plus actif de la plante puisqu'elle constitue le siège de toutes les activités biochimiques.L'application d'une contrainte hydrique modérée, n'a pas touché ni le nombre de feuilles, ni leur dimensions alors qu'en conditions hydriques limitantes, les feuille du sorgho subissent un rétrécissement et deviennent plus courtes et plus effilées. Des résultats semblables ont été constatés par De Lacerda et al. (2005) et Mutava (2011) chez le sorgho.

Les plantes irriguées à l'eau saumâtre présentent moins de feuilles formées par plante que le témoin mais plus nombreuses que le stress hydrique. Il semble que le sel retarde la formation et la mise en place de nouvelles feuilles, sans modifier fondamentalement la cinétique de croissance foliaire (Djé et al.,2007).

Un changement dans le taux de chlorophylle de la feuille est un indicatif relatif de la santé de la plante (Carter et al., 2002). La réduction de chlorophylle observée sous stress hydrique sévère est due soit à une inhibition de la synthèse de la chlorophylle (Stobart et al, 1985; Radhouane, 2006) soit à une dégradation des pigments suite à une augmentation de l'activité des enzymes hydrolytiques (Hsissou, 1994; Santos, 2004). La chute du taux chlorophyllien en présence de sécheresse sévère a été observée par Tolk et al. (2013) sur le sorgho.

5. CONCLUSION

La présente étude a montré que l'application de stress hydrique modéré a diminué légèrement la hauteur de la tige et la teneur en chlorophylle des feuilles. Au contraire, lorsque le manque d'eau est très sévère, tous les paramètres mesurés ont subi une réduction importante.

Pour la contrainte saline aussi bien modérée que sévère, une amélioration des dimensions des feuilles et du tallage a été observée. Cependant, le nombre et la teneur en chlorophylle des feuilles ont accusé une légère baisse. Ce ci nous amène à conclure que le sorgho est plus sensible à la déshydratation intense qu'a la salure ce qui permet de valoriser les eaux chargées pour la production fourragère du sorgho.

Références bibliographiques

-Amazallag GN, Lerner HR, Poljakoff-Mayber A. (1999) : Exagenous ABA as a modulator of the response of sorghum to light salinity. J. Exp.Bot, 41, 1529-1534.

-Cakir R, (2004) : Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field crops Research, 89, 1-16.

-Crépin BP, Désiré AA, Bernard GD. (2001) : Interaction eau d'irrigation- variété de canne à sucre en conditions de rationnement hydrique. Cahier d'agriculture, 10(4), 243-253.

-Carter GA, Spiering BA. (2002) : Optical properties of intact leaves for estimating chlorophyll concentration. J. Envir. Quality, 31, 1424-1432.

-Cornic G, Massacci A. (1996) : Leaf photosynthesis under drought stress. In: Photosynthesis and the environement, N.R Baker (ed.). Advances in photosynthesis, Vol 5 Govindjee series editor. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht ISBN 0-7923-4316-1.

-De Lacerda CF, Cambraia J, Oliva MA, Ruiz HA. (2005) : Changes in growth and in solute - concentrations in sorghum leaves and roots during salt stress recovery. Environ. Exp. Botany, 54(1), 69-76.

-Djè Y, Heuertz M, Ater M, Lefebvre C, Vekemans X. (2007) : Évaluation de la diversité morphologique des variétés traditionnelles de sorgho du Nord-ouest du Maroc Biotechnol. Agron. Soc. Environ, 11 (1), 39–46.

-Edwards GE, Franceschi VR, Ku MBS, Voznesenskaya EV, Pyankov EU, Andreo CS. (2001) : Compartimentation of photosynthesis in cells and tissues of C_4 plant. J. Exp. Botany, 52(356), 577-590.
-FAO. (1997) : L’économie mondiale du sorgho et du mil. Faits, tendances et perspectives. 67p.
-Hachicha M, Cheverry C, Mhiri A. (2000) : The impact of long-term irrigation on changes of groundwater level and soil salinity in northern Tunisia. Arid Soil Res Rehabil, 14, 175-182.
-Jahanzad E, Jorat M, Moghadam H, Sadeghpour A, Chaichi MR, Dashtaki M. (2013) : Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density. Agricultural Water Management, 117, 62– 69.
-Marsalis MA, Angadi SV, Contreras-Govea FE. (2010) : Dry matter yield and nutritive value of corn, forage sorghum, and BMR forage sorghum at different plant populations and nitrogen rates. Field Crops Research, 116, 52–57.
-Mutava RN, Prasad PVV,Tuinstra MR, Kofoid KD, Yu J. (2011) : Characterization of sorghum genotypes for traits related to drought tolerance. Field Crops Research, 123, 10–18.
-Netondo GW, Onyango JC, Beck E. (2004) : Sorghum and salinity. II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. Crop Sci, 44(3), 806-811.
-Radhouane L. (2006) : Diversité morpho-phenologique, caractérisation agro-physiologique et mécanismes d’adaptation aux contraintes hydriques et salines de populations autochtones de mil. Thèse de doctorat d’état, INAT, 289p.
-Saberi AR, Siti AH, Halim RA, Zaharah AR. (2011) : Morphological responses of forage sorghums to salinity and irrigation frequency. African Journal of Biotechnology,10, 9647–9656.
-Santos CV. (2004) : Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. Scientia Horticulturae, 103, 91-99.
-Tolk JA, Howell TA, Miller FR. (2013) : Yield component analysis of grain sorghum grown under water stress. Field Crops Research, 145, 44–51.
-Vadel AM. (1999) : Evaluation écophysiologique de la tolérance aux contraintes abiotiques chez le triticale et le sorgho. Thèse de doctorat, FST, 202 p.

Réponse des variétés de piment Midass et Baklouti face aux contraintes saline et hydrique

R’him T., Tlili I., Henan I., Ilahy R., Ben Ali A., Jebari H.
Laboratoire d’Horticulture. Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie (INRAT) .Rue Hédi Karray 2049, Ariana, Tunisie
Email : thouraya.rhim@yahoo.fr,imen_tlili2008@yahoo.fr, jebari.hager@iresa.agrinet.tn, bn.riadh@gmail.com
Corresponding author: R’HIM Thouraya, thouraya.rhim@yahoo.fr

RESUME
Dans la nature, les plantes sont souvent exposées à une multitude de contraintes environnementales, telles que le manque d’eau, la salinité et la température élevée, limitant fortement la productivité végétale. Les stress hydrique et salin sont deux contraintes abiotiques qui caractérisent nos régions surtout au Sud de la Tunisie. Or, une déficience en eau est en général accompagnée d’un stress salin. Ces deux facteurs combinés peuvent causer des problèmes agronomiques sévères.
L’objectif de cette étude est de comparer l’influence de la contrainte hydrique (100% RFU, 50% RFU) et saline (0, 30, 60 mM de NaCl) sur la conductance stomatique, le rendement et l’incidence à la nécrose apicale chez deux variétés locales de piment Midass (une variété locale du sud Tunisien) comparée à la variété Baklouti (une variété locale du sahel).
Les résultats obtenus ont montré que l’effet de la contrainte hydrique (50% RFU) est plus prononcé que l’effet de la salinité lorsqu’elle est modérée (30 mM de NaCl). Par contre, lorsque le stress salin devient sévère (60 mM), on a une inversion de situation, l’effet du sel devient plus remarquable que le manque d’eau.
Pour les traitements combinés, on a constaté une réduction très nette de la conductance stomatique et du rendement dès le traitement (30 mM de NaCl, 50% RFU). La variété Midass apparait la plus tolérante à ces deux contraintes.
Mots-clés: stress hydrique, salinité, Capsicum annuumL., nécrose apicale, conductance stomatique.

SUMMARY
Drought and salinity stresses are the most important abiotic stresses responsible of crop failure worldwide, that cause reduction in plant growth, development and productivity**.** Irrigation efficiency and salinity stresses are becoming crucial for vegetable and agronomic crop production particularly in the southern regions of Tunisia. The aim of the study is to compare the influence of water stress (100% , 50% RFU and saline (0, 30, 60 mM NaCl) on stomatal conductance, yield and the impact on blossom end rot in two local varieties Midass (a local variety of southern Tunisia) compared to Baklouti variety (a local variety of the Sahel). The results showed that the effect of water stress (50% RFU) is more pronounced than the effect of salinity when moderate salinity (30 mM NaCl). But, when the stress becomes severe (60 mM), the situation is inversed; the effect of salt is more significant than the water stress.
Keys words: water stress, salinity, pepper, blossom end rot, stomatal conductance

1. INTRODUCTION

En Tunisie, la culture de piment de saison qui représente à elle seule plus du ¾ de la production nationale totale et qui assure l’approvisionnement du marché en piment frais et sec est assez faible (10T/ha). Cette coulure estivale est sujette à plusieurs contraintes abiotiques. La sécheresse et la salinité sont les deux principaux stress environnementaux qui limitent la croissance des plantes et leurs productivités(Debaeke and Aboudrare, 2004 ; Rozema and Flowers, 2008 ; Abdel Latef, 2010).
Munns et Tester (2008) ; Zribi et al. (2008) et Niu et al. (2010) ont rapporté que la réduction de la croissance de la plante. Elle est due aux diminutions du potentiel osmotique dans le sol, de la conductance stomatique et de la photosynthèse. Sarda et *al* (1992) ont apporté que la baisse de la photosynthèse sous contrainte hydrique est une conséquence de la diminution de la conductance stomatique induite par l’abaissement du statut hydrique des feuilles.Chaves et al., **(**2008) ont remarqué que les effets de la sécheresse et de l’excès de sel observés sur la photosynthèse sont soit directs

comme les limitations de la conductance stomatique, soit secondaires, tels que le stress oxydatif résultant de la superposition de multiples contraintes

Chartzoulakis et KlapaKi (2000), Dalla Costa and Gianquinto (2002) Antony and Singandhupe (2004) ont observé une diminution du rendement en fruit au fur et à mesure que la salinité s'élève et le manque d'eau est important.Selon Hsiao (1993) et Rubio et *al.* (2010) la baisse de rendement total en cas de stress hydrique ou salin est due à la réduction de la croissance et des assimilats. En effet, Kulkarni and Phalke (2009) ont rapporté qu'en cas de stress hydrique ou n'importe quel autre stress abiotique il ya une diminution significative de la photosynthèse et, par conséquent, une réduction de la quantité de métabolites. Selon la littérature, le piment est considéré parmi les espèces légumières sensibles ou modérément sensibles au sel (Cornillon et Palloix, 1997 ; Aktas et al. 2006, Navarro et al. 2010) et au manque d'eau (Rhim et al. 2002, Dorji *et al*. 2005 ;Ferrara et al, 2011). D'autres travaux ont signalé que ces deux contraintes n'affecte pas uniquement le rendement mais augmente l'incidence de la nécrose apicale (R'him et al.1999 ; 2013 ; Zhani, et al, 2012)

L'objectif de cette étude est d'évaluer les effets d'un stress hydrique et salin sur la conductance stomatique, le rendement et l'incidence à la nécrose apicale chez deux variétés locales de piment : Baklouti et Midass.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette expérience est représenté par deux variétés locales de piment : Baklouti et Midass.

Baklouti : c'est une variété locale sélectionnée par l'INRAT, la plante haute et vigoureuse, le fruit est à section longitudinale rectangulaire, légèrement déprimé et très piquant ; tardif; il résiste aux souches communes du virus Y de la PDT.

Midass: C'est une population locale. Son appellation provient de son lieu de culture qui se dans l'oasis de Djérid dans le sud tunisien. Elle est caractériséepar une végétation érigée à petites feuilles et aux entre-nœuds courts. Le fruit est très petit (2-5 cm), de couleur vert foncé, à goût très piquant. Il est cultivé essentiellement dans les oasis d'El Jerid.

2.2. Conduite de la culture

Les expérimentations ont été réalisées à l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie durant l'année 2008-2009. Le semis des deux s variétés est effectué au début du mois de janvier en terrines remplies de tourbe et placées dans une chambre à 25°C. Il est suivi, à environ 25 jours, d'un repiquage en plaques alvéolaires. La culture dure 30

Jours. Elle est conduite à une température de 18-20°C la nuit et 28°C le jour, et sous une humidité relative de 70%. Au stade 4-5 feuilles, les plantes sont transférées dans

des pots en plastique de 30 cm de diamètre et de 50 cm de profondeur contenant chacun un substrat composé de terre de jardin, de fumier de ferme décomposé et de

sable grossier à proportions égales. Les conteneurs de culture sont placés sous abri-serre plastique. Dans la région de Tunis (Tunisie), les températures moyennes

Enregistrées sous l'abri-serre durant la période de la culture (novembre 2008- avril 2009) sont situées entre 16,3 et 27,6°C. Au début, l'arrosage des graines et des jeunes plantules est effectué à l'eau courante et exécuté sous formes de fines gouttelettes pour éviter le déchaussement des graines et la casse de jeunes tiges. Cette eau a une conductivité électrique de CE= 0,73mmhos/cm. Une fois les plantules acclimatées (10 jours après la plantation), l'application des traitements salins et hydriques combinés ont commencé de la manière suivante :

Traitement S_0 I_1 : 100% RFU (eau de robinet) + 0mM de Na Cl
Traitement S_0 I_2 : 50 % RFU (eau de robinet) + 0mM de Na Cl
Traitement S_1 I_1 : 100% RFU (eau de robinet) +30mM de Na Cl
Traitement S_1 I_2 : 50% RFU (eau de robinet) + 30 mM de Na Cl
Traitement S_2 I_1 : 100% RFU (eau de robinet) + 60 mM de Na Cl
Traitement S_2 I_2 : 50% RFU (eau de robinet) + 60 mM de Na Cl

2.3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est de type factoriel à deux facteurs en randomisation totale. Le facteur 1 représente les trois traitements de sel. Le facteur 2 représente les deux traitements d’irrigation Le nombre des répétitions appliquées est 3. Chaque répétition comporte 3 pots par variété et par traitement combiné.

2.4. Paramètres mesurés

- **La conductance stomatique :** Elle est mesurée (Mi mars) par un poromètre (Decagon dvices, Pullman, WA) durant un jour clair entre 10 h et 12h. La valeur moyenne calculée par variété et par traitement correspond à trois mesures effectuées sur des feuilles appartenant aux deux derniers étages foliaires.

- Le Rendements en fruits Après une première récolte effectuée le 29/05/2010. Le rendement obtenu est exprimé en gramme par plante.

Le Pourcentage des fruits nécrosés

$$\text{Le pourcentage des fruits nécrosés} = \frac{\text{Nombre des fruits nécrosé}}{\text{Nombre total des fruits récoltés}} * 100$$

2.5. Étude statistique

L’analyse de la variance ANOVA aété faite par le programme SAS (2000). Chaque donnéeconstitue la moyenne d’au moins trois mesures. Pour lacomparaison des moyennes, le test de Newman Keuls au seuil de 5% a été utilisé.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. La conductance stomatique

La conductance stomatique a été significativement réduite sous l’effet du stress salin et hydrique (Figure1). Cependant, Le stress combiné, affecte plus la conductance stomatique que lorsque le stress appliqué est simple. En effet, pour le traitement combiné S_2I_2 (60 mM ; 50% RFU),la conductance stomatique diminue respectivement de 65,71% et de 84 % % chez la variété Midass et Baklouti par rapport au traitement S_0I_1 (0 mM ; 100% RFU)

En revanche, chez ces deux variétés Midass et Baklouti, on constate que :

- le stress hydrique indépendamment du stress salin diminue respectivement la conductance stomatique de 42% et de 53,26%.
- la contrainte saline indépendamment de stress hydrique réduit respectivement la conductance stomatique de 17% (S_0S_1) et de 40% (S_0-S_2) chez Midass; de 29% (S0-S_1) et de 73 % (S0-S_2) chez Baklouti.

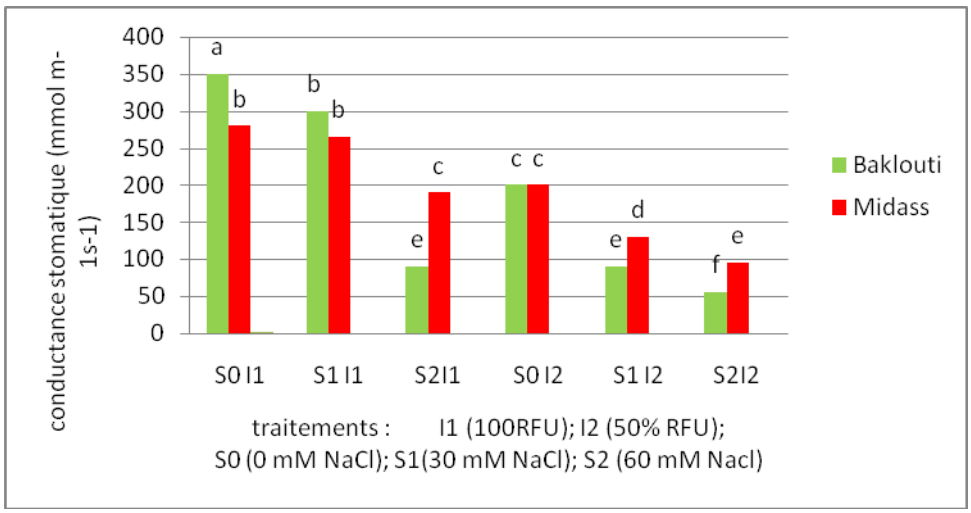


Figure 1. Effet de stress combiné sur la conductance stomatique

Ces résultats corroborent avec les travaux de Sarda et *al* (1992) et Chaves et al (2008) qui ont signalé que la diminution de la conductance stomatique est une conséquence de la baisse du statut hydrique des feuilles sous l’effet de la sécheresse et de l’excès de sel.

3.2. Rendements en fruits

L’observation de la figure 2 et l’analyse de la variance ont montré des différences significatives entre les traitements **et c**hez les deux variétés (Baklouti et Midass).
Le stress hydrique (I1 = 100% RFU/ I1 =50% RFU) indépendamment du stress salin diminue le rendement en fruits de la plante de 32 % chez les deux variétés.
Le stress salin appliqué (S_0-S_1) et(S_0-S_2) indépendamment de la contrainte hydrique réduit respectivement le rendement en fruits de 26% et de 49 % chez la variété Baklouti et de 11 et 33% chez la variété Midass.

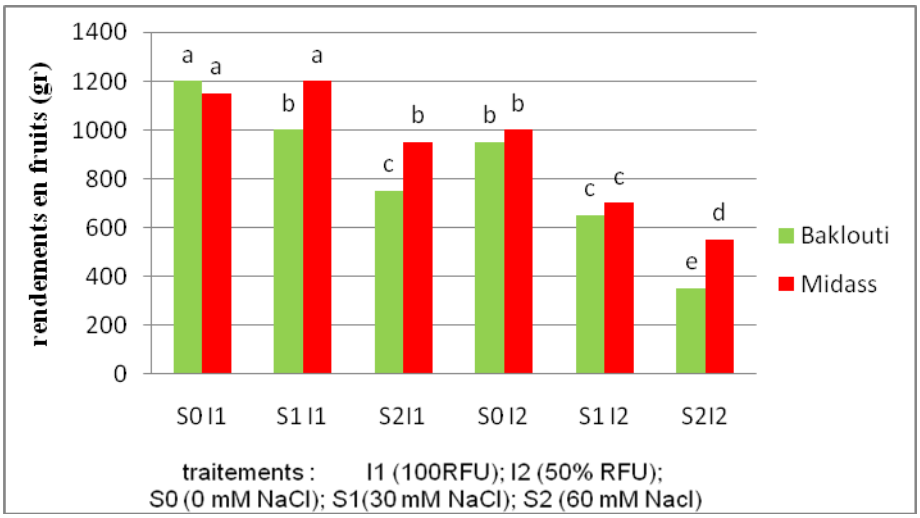


Figure 2. Effet de stress combiné sur le rendement en fruits

Concernant les traitements combinés, on constate que la variété Baklouti est la plus touchée.
En effet, on note une chute du rendement de 71,83% pour le traitement S_1I_2 (30mM ; 50% RFU) par rapport au traitement S_0I_1 (0mM ; 100 RFU).
Pour la variété Midass on constate que :
- Il n’ ya aucune différence significative entre le traitement S_0I_1 (0mM; 100% RFU) et S_1I_1 (30mM; 100% RFU).
- Qu’il n’ya pas différence significative entre S_0I_2 (0mM; 50% RFU) et S_2I_1 (60mM; 100% RFU) et que la diminution du rendement ne dépasse pas 17% par rapport au traitement S_0I_1 (0mM ; 100 RFU)
- Il ya une diminution du rendement en fruits par rapport au témoin qui est de 40% pour le traitement S_1I_2 (30mM; 50% RFU) et de 47,78% pour S_2I_2 (60mM; 50% RFU).

Ces résultats sont en accord avec les travaux de Chartzoulakis et KlapaKi (2000), Dalla Costa and Gianquinto (2002) Antony and Singandhupe (2004) sur le piment. Cette baisse de rendement total en cas de stress hydrique ou salin est due à la réduction de la croissance et des assimilas (Hsiao, 1993 ; Rubio et *al.* 2010). En effet, Kulkarni and Phalke (2009) ont rapporté qu’en cas de stress hydrique ou n’importe quel autre stress abiotique il ya une diminution significative de la photosynthèse et, par conséquent, une réduction de la quantité de métabolites.

3.3. Pourcentages des fruits nécrosés

L’observation de la figure 3 et l’analyse de la variance, montrent que les fruits de la variété Midass ne sont pas affectés par la nécrose. Seuls les fruits de la variété Baklouti sont touchés par la nécrose apicale. Ce désordre physiologique est d’autant plus important que le stress appliqué est sévère. En effet, on note que le pourcentage des fruits nécrosés atteint 12% dés l’application du traitement S_1I_1 (30mM ; 100% RFU). Il augmente respectivement de 20 -25% à l’application des traitements S_1I_2 etS_2I_1 (30mM ; 50% RFU, 60 mM ; 100 RFU) et pour atteindre 62 % pour le traitement S_2I_1 (60mM ;

100% RFU). Ces résultats corroborent avec les travaux de R’him et *al*. (1999 ; 2013) ; Zhani, et *al.*, (2012).

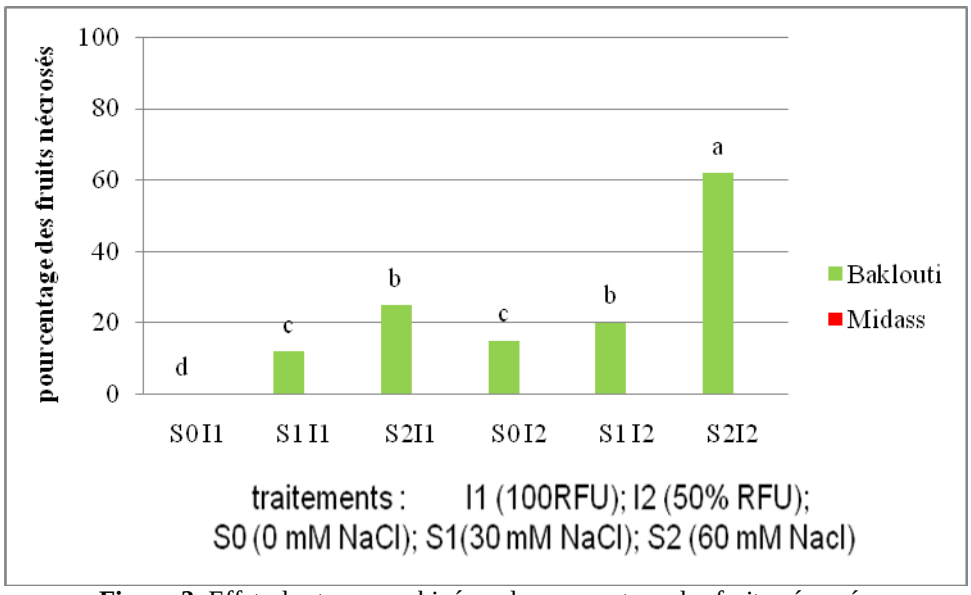


Figure 3. Effet de stress combiné sur le pourcentage des fruits nécrosés

4. CONCLUSION

Les résultats de cette expérimentation ont permis d’une part de constater que la contrainte hydrique (50% RFU) affecte plus la conductance, le rendement et la qualité des fruits que la salinité lorsqu’elle est modérée (30 mM de NaCl). Par contre, lorsque le stress salin est sévère (60 mM), on a une inversion de la situation, l’effet du sel devient plus évident que le manque d’eau. En cas de contrainte hydrique et saline, il ya une réduction très nette de la conductance stomatique et du rendement dès le traitement (30 mM de NaCl, 50% RFU).

D’autres part cette étude a permis de rendre compte des différences génotypiques vis-à-vis de la salinité et de la contrainte hydrique. En effet, la variété Baklouti qui est issue de la région côtière du sahel est plus sensible au sel et au stress hydrique que la variété Midass. Cette dernière qui est très piquante s’est montrée plus tolérante à la salinité et au manque d’eau vu qu’elle n’a été affectée que lorsque la dose de sel est élevée (60 mM) et la contrainte hydrique est sévère (50% RFU). Ce comportement adaptatif est dû à l’origine de l’écotype Midass qui est cultivé essentiellement au sud tunisien et où la charge en sel de l’eau d’irrigation dépasse 3,5g/l (60mM).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Abdel Latef, A.A., (2010) : Changes of antioxidative enzymes in salinity tolerance among different wheat cultivars. Cereal Res. Comm. 38, 43–55.

-Aktas, H., Abak, K., Cakmak, I., (2006) : Genotypic variation in the response of pepper to salinity. Sci. Hortic. 110, 260–266.

-Antony, E. and R.B. Singandhupe, (2004) : Impact of drip and surface on growth, yield and WUE of capsicum (*Capsicum annum* L.). Agric. Water Manage., 65: 121-132.

-Chartzoulakis, K., Klapaki, G., (2000) : Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. Sci. Hortic. 86, 247–260.

-Chaves,M.M, Flexas,J. and Pinheiro, C. (2008) : Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cellAnn Bot (2009) 103 (4): 551-560

-Cornillon P. & Palloix A., (1997) : Influence of sodium chloride on the growth and mineral nutrition of pepper cultivars. Journal of Plant Nutrition, 20, 1085-1094.

-Dalla Costa, L. and G. Gianquinto, (2002) : Water stress and water table depth influence yield, water use efficiency and nitrogen recovery in bell pepper, lysimeter studies. Aust. J. Agric. Res., 53: 201-210.

-Debaeke, P. and A. Aboudrare, (2004) : Adaptation of crop management to water-limited environments. Eur. J. Agron., 21: 433-446.

-Dorji, K., M.H. Behboudian and J.A. Zegbe-Dominguez, (2005) : Water relations, growth, yield and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying. Scientia Hortic., 104: 137-149.
-Ferrara,A., Lovelli,S., Di Tommaso, T. and M. Perniola, M. (2011) : Flowering, Growth and Fruit Setting in Greenhouse Bell Pepper under Water Stress. Journal of Agronomy, 10: 12-19.
-Hsiao, T.C. (1993) : Growth and productivity of crops in relation to water stress. Acta Hortic., 335: 137-148.
-Kulkarni, M. and S. Phalke, (2009) : Evaluating variability of root size system and its constitutive traits in hot pepper (*Capsicum annum* L.) under water stress. Sci. Hortic., 120: 159-166.
-Munns, R., Tester, M. (2008) : Mechanisms of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant Biol. 59, 651–681.
-Navarro J.M., Garrido C., flores p. & Martinez V., (2010) : The effect of salinity on yield and fruit quality of pepper grown in perlite. Spanish Journal of Agricultural Research, 8, 142-150.
-Niu, G., Rodriguez, D.S., Starman, T., (2010) : Response of bedding plants to saline water irrigation. Hort Science 45 (4), 628–636.
-R’him T., Hamza N., Henchi B. et Baba R, (1999) : Contribution à l’étude de l’effet du déficit hydrique sur la nécrose apicale des fruits chez le piment (Capsicum annuum). Annales de l’INRAT, 1999, (72), 291-302.
-R’him T., Hamza N., Henchi B., (2002) : Effet de la contrainte hydrique sur quelques paramètres de croissance chez le piment (Capsicum annuum L.). Annales de l’INRAT, 2002, (75), 173-190.
-R’him,T., Ilahy, R., Tlili,I., Khamassy, N., Jebari, H. (2013) : The effect of Salinity on some growth and yield parameters of three pepper (Capsicum annuum L.) varieties grown in Tunisia. Food 7 (Special Issue 1), 27-31 . Global Science Books.
-Rozema, J., Flowers, T. (2008) : Crops for a salinized world. Science 322, 1478–1480.
-Sarda, X., Vansuyl, G., Touseh,G., Casse Delbart, F. et Lamaze, T. (1992) : Les signaux racinaires de la régulation stomatique. In « Tolérance à la sècheresse des céréales en zones méditérranéennes : diversité génétique et amélioration variétale ». Colloque INRA, 64 :75-79.
-Rubio, J.S., Rubio, F., Martínez, V., García-Sánchez. F. (2010) : Amelioration of salt stress by irrigation management in pepper plants grown in coconut coir dust. Agricultural Water Management 97, 1695-1702.
-Zhani, K., Elouaer, MA., Aloui, H. Hannach, C. (2012) : Selection of salt toleranttunisian cultivar of chili pepper (Capsicum frutescens). Eurasian journal of Boisciences 6,47-59
-Zribi, L., Gharbi, F., Rezgui, F., Rejeb, S., Nahdi, H., Rejeb, M.N., (2009) : Application of chlorophyll fluorescence for the diagnosis of salt stress in tomato ‘‘Solanum lycopersicum (variety Rio Grande)’’. Scientia Horticulturae 120, 367–372.

Rain harvesting: a key for water supply in semi-arid regions "Algerian experience"

Salah Zereg
BP 121 Barika 05001, Algeria
Email: zs_hcds@yahoo.fr

SUMMARY
The collection of rainwater was and will remain one of the solutions to supply human water needs, as and when his standard of living increases. By construction of reservoir or derivation constructions (big dams, small dams, channels), but those infrastructures remain dependent in two principal boundary conditions, first is related to the numbers of favorable sites which is limited, and second is related to the budgetary resources which should be mobilized to curry out this works, according to their high cost. In semi-arid spaces other constraints are added, such have the prevailing climate marked by dryness, the zonality of the underground resources and the torrential rains. That makes water access hardly. From where, it is more than necessary to seek easy and applicable solutions, by the recourse to collect rainwater, by construction of small works such as pools, djoubs, colature…etc, which are for long time practiced by agro-pastoral populations. In Algeria, within national program of agricultural and rural development, a special fund was created to solve the problems related to the steppe areas development, by proportional or final financing, according to the importance of the investments. Among of eligible actions at this fund, the realization of the pools, since 2000 to date, hundreds of pools were carried out with the profit of the agro-pastorals households. The poster illustrates a current situation, of this type of work, carried out by Office of the High Commission with the development of steppe (HCDS), in a steppe zone with semi-arid climate.
Mots clés: Agro-pastorale, pool, Rainwater harvesting, semi-arid, water scarcity, steppe

RESUME
La collection des eaux pluviales a été et restera toujours l’une des solutions pour s’approvisionner de l’eau, dont il fait appel l’homme pour subvenir à ses besoins, d’autant croissants au fur et à mesure que son niveau de vie augmente. Par la construction d’ouvrages réservoirs ou de dérivations, mais ses infrastructures restent toujours dépendantes à deux principales conditions aux limites, la première est liée aux nombres de sites favorables et la seconde est liée aux ressources budgétaires qu’il faut mobiliser pour réaliser ce type d’ouvrages, vue leur coût élevé. Dans les espaces semi-arides s’ajoutent d’autres contraintes, telles que le climat marqué par la sécheresse, la zonalité des ressources hydriques souterraines et la torrentialités des pluies. Ce qui rend l’accès à l’eau pénalisant. D’où, il est plus que nécessaire de rechercher des solutions faciles et fiables par le recours aux captages des eaux de pluies, par la construction de petits ouvrages tels que les mares, les djoubs, les collatures …etc, qui sont pratiqués depuis longtemps par les populations agropastorales. En Algérie, dans le cadre du programme national de développement agricole et rural. Un fond spécial a été crée pour résoudre les problématiques en matière de développement des régions steppiques, par le financement proportionnel ou à concours définitif de l’état, selon l’importance des investissements. Parmi les actions éligibles à ce fond, la réalisation des mares d’eau. Depuis l’an 2000 à ce jour, des centaines de mares ont été réalisées au profit des ménages agropastoraux. Le poster illustre une situation actuelle, de ce type d’ouvrage, réalisé par le Haut commissariat au développement de la steppe (HCDS), dans une zone steppique à climat semi-aride subdésertique.
Keywords: Agro-pastoral, collecte des eaux pluviales, semi-aride, pénurie d’eau, steppe

1. INTRODUCTION
While the hydrologic cycle continuously recycles earth’s water to produce renewed fresh rain, the rate at which fresh water is produced does not meet our ever-growing demand. In the face of this demand, our planet’s fresh water resources are finite. Current consumption rates are lowering groundwater levels and depleting surface water flows the world over. According to the Blue Gold Report, global water consumption is doubling every 20 years, more than twice the rate of human population growth. If current trend persist, by 2025 the demand for fresh water will be 56% more than is currently available. (Brad Lancaster, 2009)

Water forms the lifeline of any society. Water is essential for the environment, food security and sustainable development. All the known civilizations have flourished with water source as the base and it is true in the present context too. Availability of drinking water and provision of sanitation facilities are the basic minimum requirements for healthy living, (UN-Habitat, Rainwater harvesting and utilization) In one side much of the municipal water that has been purified to drinking water standards is used for tasks such as house cleaning, flushing toilets, gardening, and washing clothes or cars when drinking water quality for these tasks is not required, in other side many people bear water scarcity.

Collecting and storing rainwater is not a new idea. For almost 4000 years, cultures throughout the world have used captured rainwater (Heather Kinkade-Levario, 2007). In Algeria so rainwater harvesting is among the know-how of rural population in steppe by constructing a buried tanks that collects stormwater after a rain episodes.

2. MATERIALS AN METHODS

The concerned zone is localized at Batna department, in high plateau Noth-Est of Algeria, , it has a semi arid climate with average annual rainfall of approximately 200 mm, the principal activity is sheep breeding associated with winter rainfed cereal culture (dominance barley), Between 1980 to 2000, water scarcity induced an outflow, of rural population to neighboring municipals, after that with emergence of national program of agricultural and rural development (PNDAR), the situation begin to reverse, and many people of the locality benefit from this framework, by creation of farms with irrigation equipment on condition to have a sufficient field and water resource permit exploitation. More often the second condition is not satisfied, for that the concerned people are reoriented to rainwater harvesting by constructing pools. Two sites are represented in the poster:

Realized in 25/07/2002 at Ain Omhani, Seggana, Algeria, with geographic coordinates N:35° 17’ 50,6’’ E:5°28’ 56,0’’

Realized in 17/10/2006 at Ouled bourenan, Djezzar, Algeria, with geographic coordinates N:35° 29’ 49.2’’ E:5° 26’ 43.7’’

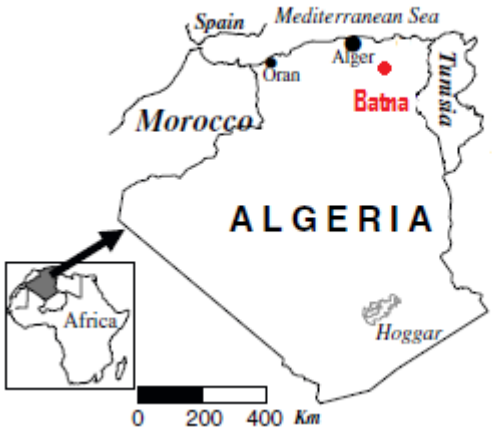


Figure 1. Study area localisation.

Pool is a simple construction which is realized by simple earthwork of the ground, in the form of dyke that collecting rainwater, of micro-catchment with surface about some square kilometers, and storage capacity going from some to hundred thousands of cubic meters. obtained by digging followed by compressing with a bulldozer during an average time of 100 hours, to form a dyke with average high about 3 meters. After earthwork is terminated, the amont face of dyke is paved with rocks.

3. RESULTS

We have followed the two sites from proposal to construction until nowadays and we have registered the benefits of this alternative technique, on various layouts:

Simple to construct: Bulldozer for digging and handwork employment for covering.

Economical: the cost of pool represents 50% of drilling.
Feasible: In a steppe zone with semi-arid climate, where annual precipitations rarely reach 250mm, (once on seven). But the number of daily rainfall that insure pools filling is generally sufficient, for the concerned zone as follows:

Profitable: The agro-pastorals of the concerned sites, were self supplied beforehand by cisterns, following their adhesion to program, this population could profit from many achievements of pools, where the state intervenes by the realization, and they take part by maintenance, within a conventional framework.
Pool capacity cover the most of water needs such as house cleaning, flushing toilets, gardening, washing clothes and especially for drinking livestock:

Environnemental: permit to establish a refreshing microclimate around the site.

Tableau 1. Construction cost.

	Site1	Site2
Cost price by company	1 787 760 DZD	1 734 571 DZD
Cost price by self construction	600.000 DZD	600.000 DZD
Well cost price	4000.000 DZD	4000.000 DZD

Tableau 2. Water uses

	Site1	Site2
Instantaneous capacity (c.m)	25000	80000
Number of Household	3	5
Number of livestock (sheep)	600	400
Number of poultry garage	-	2
Garden surface (Hectare)	0.5	1

Tableau 3. Rainfall data

	2010	2011	2012	2013
Numbers of daily rainfall >7 mm	4	5	4	2
Concerned months	Fev, mars, April	April, mai, june, Octo.	Mars, nov.	April, mai
Amount (mm)	39.3	62.3	34	22.9

3. CONCLUSION

Water is a precious resource, especially at south Mediterranean countries, that merit a specific policy to preserve water independence for their future generations, based on the know-how of population and technology progress.

REFERENCES

-Anna kajumul tibaijuka, UN-Habitat, Rainwater harvesting and utilization. Blue drop series book2. 77p.
-Brad Lancaster, (2009) : Rainwater harvesting for dry land and beyond vol1. Resource press. 4ed Tucson Arizona, USA. 174p.
-Heather Kinkade-Levario, (2007) : Design of water,1ed New Society Publisher, Gabriola Island, BC V0R 1X0Canada. 237p.

Valorisation de la qualité biologique des eaux de surfaces destinées pour l’irrigation (cas de zone humide : Lac des Oiseaux- Algérie)

Toumi Abir[1*], Alayat Hacen[1], Houhamdi Moussa[2]
[1]Laboratoire Agriculture et fonctionnement des écosystèmes Université d’El Tarf 36000 Algérie.
[2]Laboratoire Eau Environnement. Université 8Mai 1945de Guelma 24000 Algérie.*Email : abirmhd@yahoo.fr, houhamdimoussa@yahoo.fr, tabirdz25@gmail.com

RESUME
Une politique de l’eau efficace et cohérente doit tenir compte de la vulnérabilité des écosystèmes aquatiques et des zones humides, étant donné que leur équilibre est fortement influencé par la qualité des eaux de ruissellement et des rejets qui s’y jettent.
L’éco-complexe de zones humides de la région d’El-Kala est composé d’une dizaine de plans douce à intérêt international. Le Lac des Oiseaux représente un des sites les plus diversifié de cette région. L’explosion démographique et la croissance économique ont entraînés sans aucun doute une demande en eau plus accrue qui dépasse de très loin les ressources disponibles, et rien n’indique que la sécheresse qui a sévi ces deux dernières décennies laissera place à une pluviosité abondante. L’eau de cet agrosystème, malgré son statut de site Ramsar et malgré qu’elle accueille les rejets domestiques de toute la commune du Lac des Oiseaux est sans cesse utilisée par les riverains pour l’irrigation intensive des cultures maraîchères avoisinantes (Houhamdi, 2002). Le but de ce travail est de déterminer la qualité physico-chimique et microbiologique de l’eau de ruissèlement et des rejets qui alimentent cette zone humide du littoral algérien qui est par la suite très utilisée en irrigation.
Du point de vue physico-chimique, une différence notable des taux et des teneurs mesurées de chaque paramètre étudié. Dans la majorité des cas elle dépasse les normes requises pour les eaux de surfaces. Ces concentrations indiquer une source de pollution d’origine organique qui mérite d’être suivie. Nos résultats des analyses microbiologiques nous exposent une contamination fécale des eaux de cet agrosystème, signalées par les fortes concentrations en coliformes fécaux, streptocoques fécaux. Du point de vue nature de germes isolés et quantités de microorganismes, ceux-ci dépassent les normes requises pour les eaux de surfaces rendant celle-ci impropre à l’irrigation.
Mots-clés : Lac des oiseaux, qualité, Ressources hydriques.

SUMMARY
The Birds Lake, located in extreme north - est Algerian, is renowned for its floristic biodiversity and wildlife. Agricultural activity and the increasing water resources need are highlighted around the menassant Lake and the ecological integrity of this site (Houhamdi and Samraoui, 2008). However, the quality of these waters is directly related to the protection of catchment areas against any pollution. Its waters are paid directly in the wadis and natural sites thus, promoting their overloads biodegradable organic matter immediately to a microbial development undoubtedly affecting the quality of these waters. Our study focused on the assessment of the quality of the waters of the Lake ecosystem Lake birds, we proceeded in this approach to the bacteriological properties characterization by searching for possible presence of germs test of fecal contamination (counts and search for coliforms, fecal coliforms, and fecal streptococci with identification of existing microflora.
Keywords: birds lake, quality, water resources**.**

1. INTRODUCTION
La protection du milieu naturel concerne la bonne qualité des eaux contre toute pollution urbaine ou industrielle. Le besoin est urgent d’une approche intégrée et plus approprier de la gestion des bassins versants et des eaux à des fins de conservation des zones humides. Les dernières décennies ont été marquées par la régression des zones humides dans le monde entier ce qui a suscité de nombreux programmes scientifiques ou de conservation à l'origine de réglementations spécifiques nationales ou internationale (Barnaud, 1997). Le Lac des Oiseaux (36°47’N 08°7’E) est classé site Ramsar, depuis 1999, d’une superficie de 70 ha, est soumis à des contraintes naturelle et anthropique sévères (Boumezbeur, 2001). Cette étendue d’eau douce se trouve étouffée du fait qu’elle reçoit régulièrement les eaux usées de l’agglomération en extension. Ainsi, l’explosion démographique et la croissance

économique ont entraînés sans aucun doute une demande en eau plus accrue qui dépasse de très loin les ressources disponibles, et rien n’indique que la sécheresse qui a sévi ces deux dernières décennies laissera place à une pluviosité abondante. Cette dernière s’est répercutée fatalement sur l’environnement et sur les activités socio-économiques. Notre étude conforte l’hypothèse que les eaux de l’écosystème Lac des Oiseaux sont impropres à l’irrigation, elles sont de mauvaise qualité biologique.

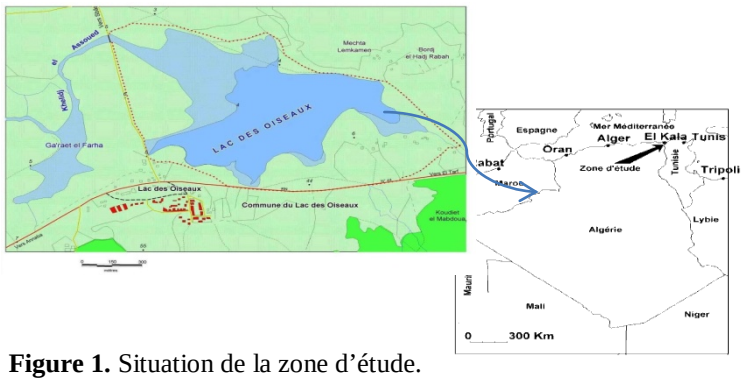


Figure 1. Situation de la zone d’étude.

2. MATERIELS ET METHODES

Nous avons effectuée quatre compagnes de mesures pendant une année de suivi. L’échantillonnage a été effectué sur trois stations, dans des conditions rigoureuses. Afin de mieux cerner l’évolution spatio-temporelle de la pollution biologique et ses incidences sur le fonctionnement de cet hydrosystème. La recherche et l’identification des souches a été réalisée par la galerie API 20E et la galerie classique et le dénombrement microbien (méthode NPP).

3. PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

3.1. Recherche et dénombrement

3.1.1. Coliformes totaux

La recherche des coliformes est primordiale du fait qu’un grand nombre d’entre eux vivent en abondance sur les matières fécales des animaux à sang chaud et de ce fait constituent des indicateurs de première importance (Duffour, 1977). Pour le Lac des Oiseaux, les coliformes totaux sont plus importantes dans les points L2 et L3 que dans le point L1 durant la première compagne ces valeurs diminuent et deviennent nulles au cours des autres compagnes. La concentration maximale a été enregistré pendant le mois de janvier (16.10^{-6} CT/100ml) au point L2, tandis que le point L1 présente les effectifs les plus faibles.

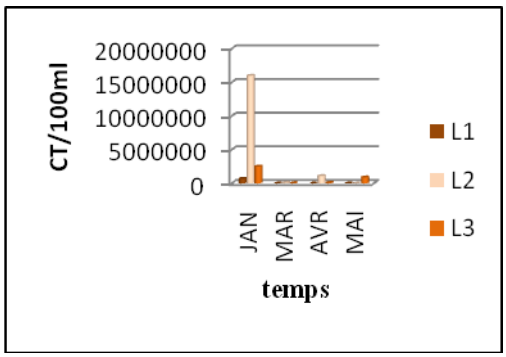


Figure 2. Evolution des coliformes totaux

3.1.2. Coliformes fécaux

Escherichia coli est le type de coliformes d’habitat fécal exclusif ; sa recherche est donc extrêmement importante. L’évolution du nombre de coliforme fécaux dans les eaux du lac est présentée dans la figure (Fig.3). Les taux les plus élevés sont enregistrés durant le prélèvement de janvier au niveau des points L2, L3 de (14.10^{-7} CF/100ml). Ces germes sont de bons indicateurs d’une pollution microbiologique de l’eau et ils sont souvent considérés comme des germes test de contamination fécale.

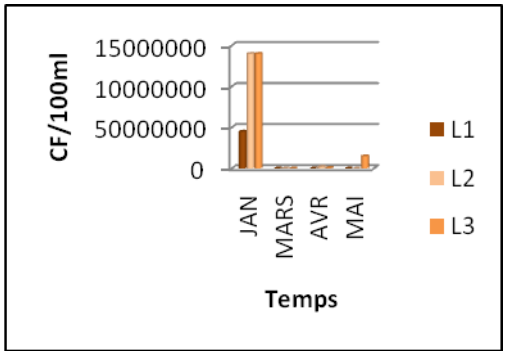


Figure 3. Evolution des coliformes fécaux

3.1.3. Streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux ou les entérocoques, sont des germes très sensibles aux variations physico-chimiques du milieu et ne résistent pas dans l’eau (ils s’adaptent difficilement en dehors de leur milieu habituel qui est l’intestin). Leur présence est directement liée à la qualité et la concentration de la matière fécale se trouvant dans l’eau. L’examen de la figure, nous montre que les concentrations de ces bactéries fécales sont extrêmement variables dans les points de prélèvements et qui dans l’ensemble, sont supérieures à la valeur guide des eaux superficiels. La station L2 est celle qui contient le nombre le plus élevé au mois d’avril de (75.10^{-4}SF/100ml).

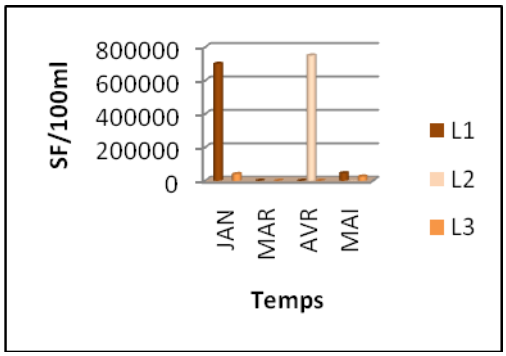


Figure 4. Evolution des streptocoques fécaux

3.1.4. Germes totaux

Les anaérobies sulfito-réducteurs sont souvent considérés comme des indices de contamination ancienne. La forme spore, beaucoup plus résistante que les formes exclusivement végétatives des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux, permet ainsi de déceler une pollution fécale ancienne.La couleur des colonies d’ASR (halo noir) résulte de la réduction de sulfite. La présence de ces colonies n’est pas la preuve absolue d’une contamination fécale ancienne, car les clostridies peuvent aussi avoir une origine tellurique.

La recherche et le dénombrement des germes totaux dans les eaux qui ont fait l’objet de notre étude montrent que les nombre de germes totaux est importants ; il atteint son maximum à la température 22°C pour le point L2. Les chiffres les plus faibles sont rencontrés au niveau de la station L3. Ces germes deviennent indénombrables (NC) au niveau de la station points L2 pour la température 37°C.

Tableau 1. Résultats de dénombrement des germes totaux à 22C° et 37 C°

Stations	GT à 22°C / UFC	GT à 37°C /UFC
L1	161	105
L2	243	NC
L3	64	115

3.1.5. Les Anaérobies sulfito-réducteurs (ASR)

Les anaérobies sulfito-réducteurs sont souvent considérés comme des indices de contamination ancienne. La forme spore, beaucoup plus résistante que les formes exclusivement végétatives des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux, permet ainsi de déceler une pollution fécale ancienne.La couleur des colonies d’ASR (halo noir) résulte de la réduction de sulfite (Sayad et *al*., 2009). Les résultats négatifs déduisent l’absence de germes sulfito-réducteurs *Clostridium sp.* responsable de botulisme ou de tétanos.

3.1.6. Les Pseudomonas

La recherche de *Pseudomonas aeruginosa* sur milieu King A, King B donne des résultats négatifs.

3.2. Identification des souches bactériennes

Les bactéries sulfito-réductrices sont présentes avec des concentrations indénombrables. La recherche de microorganismes nous a permis de mettre en évidence la dominance des bactéries à Gram négatif et l’isolement de bactéries pathogènes appartenant à la famille des Entérobactéries,tel *Escherichia, Enterobacter* et *Klebsiella* ainsi que d’autres germes principalement les *Staphylococcus.* Cette pollution affecte l’environnement et constitue une menace majeure sur la santé des écosystèmes et des habitats biologiques.

4. CONCLUSION

L’eau du Lac des Oiseaux présente une forte pollution bactériologique, avec une concentration élevée en flore mésophile aérobie. Entre autre, la contamination fécale est notée par la présence d'un degré élevé en coliformes totaux, coliformes fécaux, en streptocoques fécaux et en bactéries sulfito-réductrices, rendant l’eau impropre à l’irrigation. Les Analyses bactériologiques ont mis en évidence une contamination des eaux de toutes les stations par les coliformes fécaux qui atteignent des valeurs de l’ordre de1400.10^6 CF/100 ml, Par ailleurs, les valeurs les plus élevées de coliformes totaux sont observés au courant du mois de janvier. L’installation d’un réseau des collectes et d’évacuation des eaux usées, allant de faire des analyses biologiques périodiques permettent de mieux cerner ce problème afin de préserver ce patrimoine biologique du risque de l’eutrophisation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Barnaud G. (1997) : *Conservation des zones humides: concepts et méthodes appliqués à leur caractérisation*. Thèse doctorat. Université de Rennes 1, Rennes, France .451 p.

-Boumezbeur A. (2001) : Atlas des zones humides algériennes d’importance internationale. 2eme édition *ATLAS*. 56 p.

-Duffour A.P. (1977) : *E. coli:* The Faecal Coliform. 48 - 58. In Hoadely A .W. *and B. J. Dukta (eds)*.

-Houhamdi M .et Samraoui B. (2008) : Durnal and nocturnal behaviour of ferruginous duck *Aythya nyroca* at lac des oiseaux, northest Algéria. *Ardeola* 55 (1):59 - 69.

-Houhamdi M. et Samraoui B. (2002) : Occupation spatio- temporelle par l’avifaune aquatique du Lac des Oiseaux (Algérie). Alauda 70 : 301 - 310.

-HouuhamdI M. (2002) : Ecologie des peuplements aviens du Lac des Oiseaux (Numidieorientale).Thése docteur es-science. Université d’Annaba. 146 p.

-Sayad L. Houhamdi M. Drouiche N. et Mouchara N. (2009) : Qualité physico-chimique et microbiologique de l’eau de l’écosystème lacustre Lac des Oiseaux (wilaya d’El-Tarf–site Ramsar). Proceeding, CIGRE. ENSH, Blida.

Etude préliminaire sur la réutilisation des eaux usées épurées par lagunage pour l’arrosage des arbres à ouargla (Sahara sud-est algérien)

Tahar Idder[1], Abdelhak Idder[1], Ismaiel Berkal[1], Zineb Sayah[2], Aicha Idder[3], Khadidja Ramoune[1], Oum Kelthoum Nakhla[1]

[(1)]Laboratoire de Recherche sur la Phœniciculture, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie

[(2)]Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et semi-arides, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie

[(3)] Laboratoire des Réformes Politiques, Economiques et Sociales, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie

Email : tahar_id@yahoo.fr

RESUME

L’objectif de cette étude consiste à examiner, à petite échelle, dans les conditions sahariennes, les possibilités de réutilisation des eaux usées urbaines traitées par lagunage pour l’arrosage de deux espèces d’arbres : *Acacia farnesiana* et*Albizia julibrissin*. L’effluent utilisé pour l’expérience provient de la station d’épuration des eaux usées par lagunage aéré de l’oasis de Ouargla.

L’étude a montré que les arbres arrosés avec les eaux épurées connaissent une croissance pratiquement similaire à celle qui des arbres qui sont arrosés avec les eaux de robinet provenant de la nappe du Complexe Terminal que nous avons pris comme témoins. Par ailleurs, dans les conditions de notre expérience, aucune anomalie imputable à l’utilisation des eaux usées n’a été détectée sur les végétaux. Cette expérience préliminaire devra être poursuivie sur une durée plus longue afin d’approfondir l’étude de certains aspects fondamentaux liés à la conduite de l’irrigation avec les eaux usées dans ses aspects quantitatifs et qualitatifs. Ces études auront notamment pour objectifs le suivi de l’évolution à long terme des caractéristiques des sols et des espèces irriguées et la mise en place de mesures de protection sanitaires adaptées au contexte local.

Mots clés : réutilisation des eaux usées, arboriculture, oasis de Ouargla**.**

SUMMARY

The objective of this study is to examine, small scale, in the Saharan conditions, opportunities for reuse of wastewater treated by impoundment for irrigation of two tree species: Acacia farnesiana and Albizia julibrissin. The effluent used to experience comes from sewage wastewater lagoon aerated Ouargla oasis. The study showed that the trees watered with treated water are growing almost similar to that of the trees that are watered with tap water from the water of the Terminal complex that we have taken as witnesses. Furthermore, in the conditions of our experiment, fault attributable to the use of waste water has was detected on plants. This preliminary experiment must be continued over a longer period in order to deepen the study of some fundamental aspects related to the conduct of irrigation with wastewater in its quantitative and qualitative aspects. These studies will be especially for objectives the monitoring of the evolution of the characteristics of soils and irrigated species long term and implementing health protection measures adapted to the local context.

Key words: wastewater reuse, arboriculture, oasis of Ouargla.

1. INTRODUCTION

La réutilisation des eaux épurées permet de contribuer fortement à l’économie des ressources d’eau naturelles, en particulier au Sahara où la majeure partie des ressources en eau sont d’origine fossile donc, très difficilement renouvelables (Khadraoui, 2004; CIRESS, 2010 ; Idder et *al*, 2013). Dans l’oasis de Ouargla, près de 36.000 m^3 d’eau usées épurées sont, chaque année, inutilement rejetées dans des Sebkha. Elles pourraient utilement être réutilisées, au moins en partie, pour de limiter le recours aux ressources fossiles.

En Algérie, un programme socio-économique très ambitieux visant généralisation de l'utilisation des eaux épurées dans le domaine de l'irrigation agricole a été annoncé en 2010. Une superficie pilote, estimée à environ 4 500 hectares, englobant les wilayas de Tlemcen (1000 ha), Oran (350 ha), Boumerdès (350 ha), Borj Bou-Arrérij (250 ha), Sétif (800 ha), Constantine (600 ha), Mascara (300 ha) et Ouargla, (800 ha) a été visée par ce programme. A l'horizon 2020, l'objectif recherché est de

pouvoir irriguer un territoire beaucoup plus vaste, en utilisant des eaux usées traitées évacuées des stations d'épuration déjà construites ou prévues.

L’objectif de ce travail consiste à évaluer les possibilités de réutilisation des eaux épurées par la station de lagunage aéré de l’oasis de Ouargla pour l’arrosage des espèces forestières.

Cette expérience préliminaire, réalisée à notre connaissance pour la première fois sous conditions sahariennes en Algérie, a pour ambition d’évaluer les possibilités de valorisation des eaux usées traitées pour l’irrigation de deux espèces d’arbres : *Acaciafarnesiana* et *Albizia julibrissin*.

2. MATERIEL ET METHODES

Le site choisi pour cette expérience (Figures 1 et 2) se situe au sein de la station d’épuration par lagunage aéré de la ville de Ouargla, oasis du Sud-Est algérien. Il s’étale sur une superficie de 464 m^2 (58 m x 8 m).

Figure 1. Site expérimental avant la mise en culture

Figure 2. Site expérimental après la mise en culture

L’objectif de l’expérience consiste à comparer la croissance de deux espèces végétales irriguées parallèlement avec les eaux épurées, issues du bassin de finition de la station de lagunage, et les eaux de robinet provenant d’un forage du Mio-pliocéne situé dans au sein de cette station.

Les espèces végétales choisies sont *Acacia farnesiana* et *Albizia julibrissin*. Ces espèces ont été choisies pour leur croissance rapide et pour leur disponibilité dans les pépinières locales. L’expérience a duré 65 jours, du 10 Mars 2013 au 14 Mai 2013. Les paramètres de croissance mesurés sont la hauteur et le diamètre qui ont été déterminés avec une fréquence hebdomadaire à l’aide d’une règle graduée et d’un pied à coulisse.

Pour atteindre notre objectif, nous avons divisé le site en deux blocs expérimentaux Bloc 1 et Bloc 2. Le Bloc 1 est irrigué avec les eaux de forage et le Bloc 2 est irrigué avec les eaux épurées à raison de 10 l/j. Chaque bloc a été partagé en deux sous blocs de la manière suivante (Figure 3) :

Bloc 1 : Sous bloc 1 : contenant 24 plants d’*Albizia julibrissin*
Sous bloc 2 : contenant 24 plants d’*Acacia farnesiana*
Bloc 2 : Sous bloc 1 : contenant 24 plants d’*Albizia julibrissin*
Sous bloc 2 : contenant 24 plants d’*Acacia farnesiana*

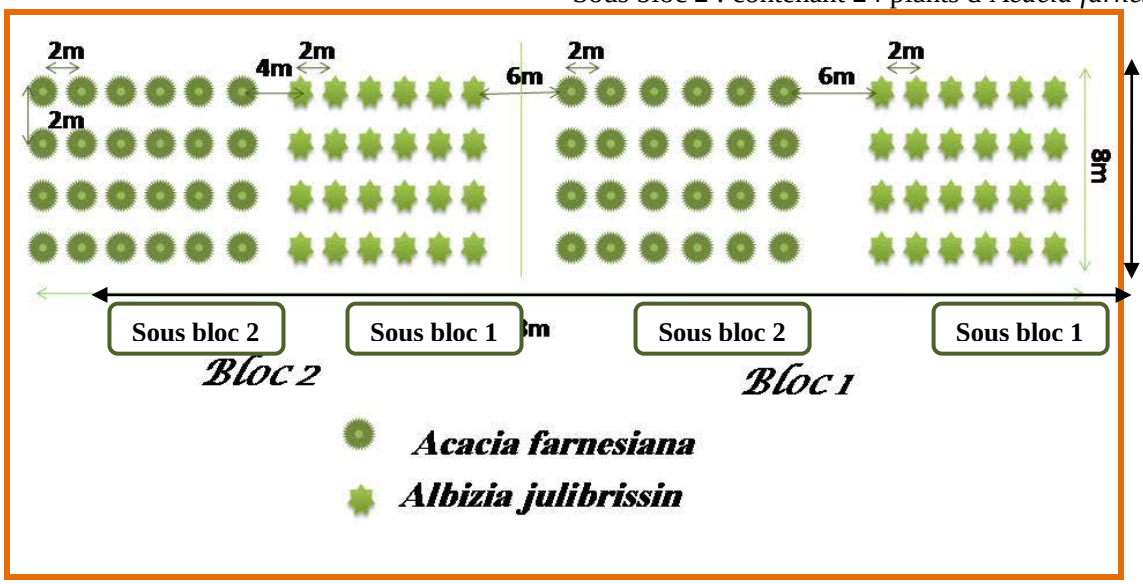


Figure 3. Schéma du protocole expérimental

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Détermination de la qualité des eaux utilisées

Les principaux paramètres de pollution des eaux épurées utilisées dans l’expérience sont présentés dans le tableau 1. La valeur moyenne de la DBO_5, pour la période d’étude, égale à 27 mg/l, est proche de celle fixée par la communauté européenne (25 mg/l) (Journal Officiel des Communautés Européennes, 1991) et se situe au dessous de la valeur mentionnée dans les normes algériennes (30 mg/l) (Journal Officiel de l'Algérie, 1993). La valeur de la DCO, égale en moyenne à 132 mg/l, se situe légèrement au dessus de la norme indiquée par la communauté européenne (125 mg/l) et dépasse celle de l'OMS appliquée en Algérie (90 mg/l). Les MES, leur valeur moyenne trouvée pendant la période de l’expérience, est égale à 90 mg/l. Cette valeur dépasse de loin les normes de la communauté européenne de 35 mg/l et celles de l'OMS appliquées en Algérie (30 mg/l). Ces valeurs élevées en MES reviennent principalement au développement important des algues et du zooplancton dans les bassins de lagunage (Labbadi et Moukar, 2010; Mensous, 2011).

Tableau 1. Principaux paramètres de pollution des eaux épurées

Paramètres	O_2 dissous (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO_5 (mg/l)	MES (mg/l)	Azote total (mg/l)	Phosphore total (mg/l)
Moyennes	5,9	132	27	90	52,1	3,3

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de forage et des eaux épurées que nous avons utilisées sont consignés dans le tableau 2.Nous constations que contrairement aux eaux épurées, les eaux de forage sont caractérisées par des taux de minéralisation relativement modérés.

Tableau 2. Caractéristiques physico-chimques des eaux épurées et des eaux de forage (méq/l)

Paramètres	CE (mS/cm)	SAR	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}
Eau usée traitée	13,51	42,71	7,3	12,06	1,95	108,91	4,83	118,3	9	11,31
Eau de forage	2,49	7,76	7,87	2,28	2,05	11,41	0,83	11,96	2,95	3,25

3.2. Croissance végétale

Durant les premiers jours de plantation, aucune croissance n’a été observée dans les deux blocs expérimentaux. Cette phase correspond à une phase d’adaptation des individus à leur nouveau milieu (passage des conditions régnant en pépinière aux conditions naturelles : exposition au soleil, au vent et à de nouvelles eaux d’irrigation).

3.2.1. Albizia julibrissin

Dans le bloc 1, irrigué avec les eaux de robinet, la hauteur varie en moyenne de 29,77 cm au début de l’expérience à 31,65 cm à la fin de l’expérience. La différence de croissance a été donc de 1,88 cm. Dans le bloc 2, irrigué avec les eaux épurées, nous avons constaté que la hauteur des plantes varie de 26,99 à 28,84 cm à la fin de l’expérience. La différence de croissance obtenue est de 1,85 cm (Figure 4).

En ce qui concerne le diamètre, les individus qui ont été irrigués avec les eaux de robinet (Figure 5), leur diamètre moyen varie de 1,40 mm au démarrage de l’expérience à 1,89 mm à la fin de l’expérience, et de 1,35 à 1,84 mm pour les individus du deuxième bloc qui a été irrigué avec les eaux traitées. La différence de croissance des individus dans les deux blocs est identique, égale à 0,5 mm. On remarque, globalement, que la croissance d’*Albizia julibrissin* en diamètres et en hauteurs est pratiquement identique dans les deux blocs expérimentaux.

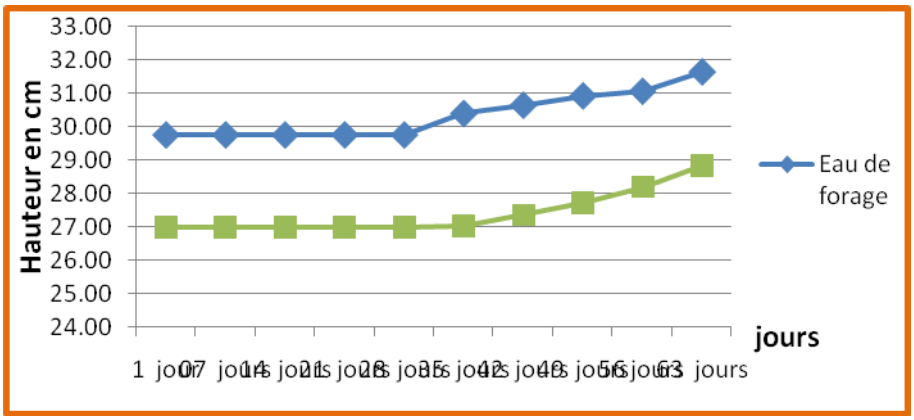


Figure 4. Courbes de croissance en hauteur d’*Albizia julibrissin* dans les deux blocs expérimentaux**.**

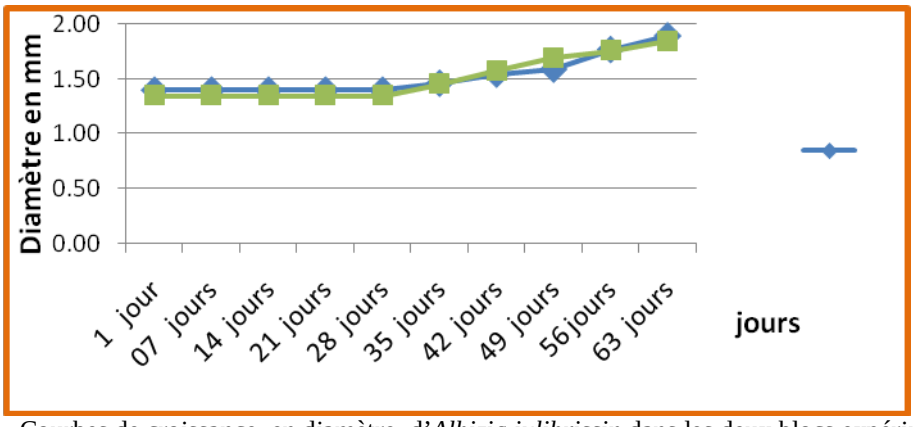


Figure 5. Courbes de croissance en diamètre d’*Albizia julibrissin* dans les deux blocs expérimentaux.

3.2.2. *Acacia farnesiana*

Dans le bloc 1 irrigué avec les eaux de robinet, la hauteur varie en moyenne de 21,44 cm au début de l’expérience à 22,33 cm à la fin de l’expérience (Figure 6). La différence de croissance est donc de 0,89 cm. Dans le bloc 2 irrigué avec les eaux épurées nous constatons que la hauteur des plantes varie de 20,28 à 20,55 cm à la fin de l’expérience. La différence de croissance est dans ce cas de 0,27 cm, c'est-à-dire une différence de 0,62 cm par rapport au bloc 1 irrigué avec les eaux de forage.

Pour les individus qui sont irrigués avec les eaux de robinet (Figure 7), le diamètre varie en moyenne de 1,33 mm au début à 1,65 mm à la fin de l’expérience, et de 1,18 à 1,35 mm pour les individus du deuxième bloc. La croissance des diamètres est plus faible dans le bloc 2, qui égale à 0,17 mm, par rapport aux bloc1 égale à 0,32 mm.

La faible croissance d’*Acacia farnesiana* dans le bloc irrigué avec les eaux usées épurées par rapport au bloc irrigué avec les eaux de robinet est due à un arrêt de croissance que nous avons constatée pour 18 plantes. Cet arrêt de croissance pourrait être expliqué par le fait que certains individus n’ont pas résisté aux effets de vents de sables très fréquents pendant la période de l’expérience. D’autre part, les eaux urbaines, même épurées, sont caractérisées par une conductivité électrique très élevée qui pourrait expliquer, en partie, les faibles croissances obtenues.

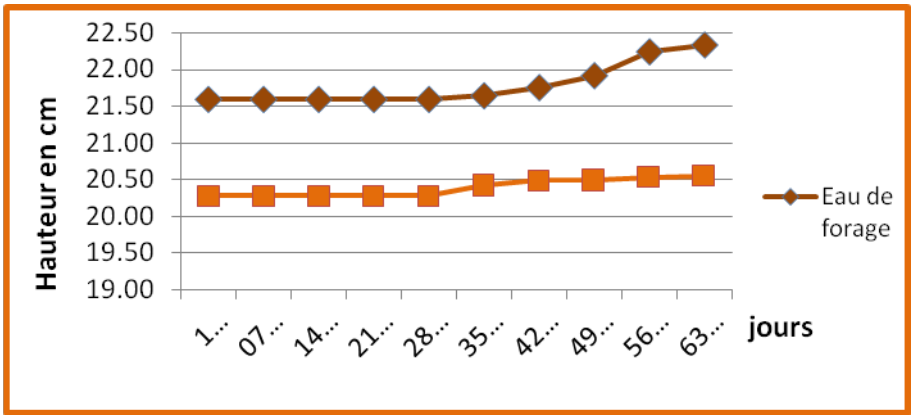


Figure 6. Courbes de croissance en hauteur d’*Acacia farnesiana* dans les deux blocs expérimentaux

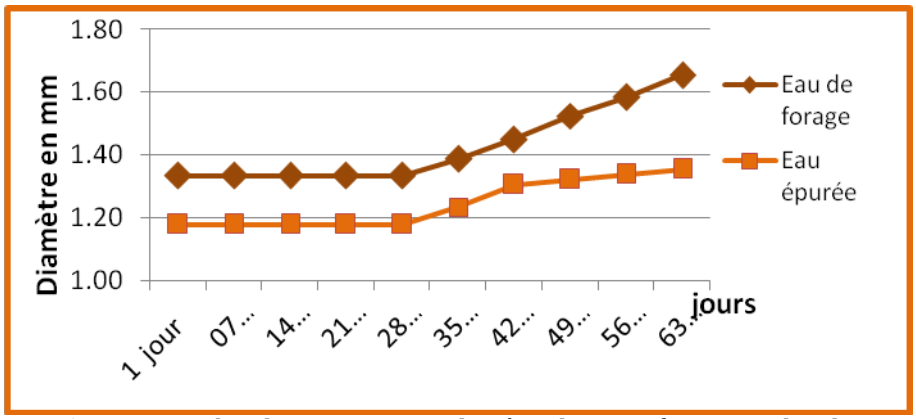


Figure 7. Courbes de croissance en diamètre d’*Acacia farnesiana* dans les deux blocs expérimentaux

4. CONCLUSION

La réutilisation des eaux traitées pour l’arrosage des espèces forestières pourrait présenter une solution intéressante sur le plan économique et tout à fait envisageable dans le contexte saharien, compte tenu du fait que toutes les ressources en eau destinées aux besoins humains sont d’origine fossile (Continental Intercalaire et Complexe Terminal), alors que les ressources en eau de seconde main sont abondamment disponibles.

Dans le contexte actuel de l’oasis de Ouargla, la réutilisation des eaux usées traitées pour l’irrigation constitue une opportunité intéressante pour préserver les ressources en eaux disponibles au profit des générations futures. Des expériences similaires, menées dans d’autres régions arides, ont montré que la réutilisation des eaux usées épurées pourrait présenter une solution intéressante pour lutter contre les problèmes de pénurie d’eau (Laouali et *al*, 2006 ; Laouali et *al*, 2009).

Ce travail préliminaire présente le résultat de 65 jours d'investigation sur les possibilités de réutilisation des eaux épurées provenant de la station de lagunage aéré de la ville de Ouargla.

Les premiers résultats du suivi biométrique des deux espèces expérimentées, arrosées avec les eaux épurées par lagunage (*Acacia farnesiana* et *Albizia julibrissin*) sont globalement encourageants. Nous

remarquons cependant que nous obtenons de meilleurs résultats avec *Albizia julibrissin*. Pour la hauteur, les plants de cette espèce connaissent une croissance de 1,88 cm entre le début et la fin de l’expérience, ce qui est pratiquement identique à la croissance obtenue en utilisant des eaux de forage. Pour le diamètre, nous obtenons également des croissances pratiquement identiques lorsqu’on utilise les eaux traitées ou les eaux de forage (0,5 mm).

Cette expérience mérite d’être poursuivie et complétée pendant de nombreuses années afin d’aboutir aux meilleures conditions possibles permettant d’optimiser l’arrosage des deux espèces forestières par les eaux traitées par la station de lagunage de Ouargla. Les pistes de recherche qui devront être explorées sont celles qui sont relatives notamment au choix d’autres espèces, au suivi de l’évolution à long terme des caractéristiques des sols et des espèces irriguées et à la mise en place de mesures de protection sanitaires adaptées au contexte local saharien.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-CIRESS. (2010) : L’utilisation des eaux usées épurées en irrigation.Colloque International sur les Ressources en Eaux Souterraines du Sahara. Agence de Bassin Hydrographique du Sahara. Ouargla, Algérie, 57p.

-Idder T, IdderA, CheloufiH, BenzidaA, KhemisR, MoguedetG. (2013) : La surexploitation des ressources hydriques au Sahara algérien et ses conséquences sur l’environnement. Un cas typique : l’oasis de Ouargla (Sahara septentrional). *Techniques Sciences Méthodes*, 5, 31-39.

-Journal Officiel de l'Algérie. (1993**) :** Valeurs limites maximales des paramètres de rejet des installations de déversement industrielles. Journal Officiel de la République Algérienne N°46 du 14 juillet 1993, Alger.

-Journal Officiel des Communautés Européennes. (1991) : Directive du Conseil du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux résiduaire 91/271/CEE.

-Khadraoui A. (2004) : Eaux et sols en Algérie. Gestion et impact sur l'environnement. Editions El-Khyam, Constantine, Algérie, 392 p.

-Labbadi K, Moukar M. (2010) : Étude des performances de la station de traitement des eaux usées urbains par lagunage de la ville de Ouargla. Mémoire d’ingénieur d’état en écologie et environnement, Université de Ouargla, Algérie, 112p.

-Laouali MS, Idder T, Boubacar Y, Kawa R, Abba M. (2006) : Possibilités d’utilisation des eaux usées traitées par lagunage pour l’irrigation des plantes forestières : cas de *leptadenia hastata* et *Moringa oleifera*. *Annales de l'Université Abdou Moumouni de Niamey*, tome VIII-A, pp. 99-109.

-Laouali MS, Atta S, Abdoulaye H, Alzouma Z, Ibro G, Marafa D, Saadou M. (2009) : Valorisation des eaux usées épurées pour la production du bois-énergie et du fourrage au Niger. *Sécheresse*, 20 (4) : 367-72.

-Mensous M. (2011) : Etude du système actuel de gestion des eaux usées dans l’oasis de Ouargla. Thèse de Magister en Ecologie saharienne et Environnement, Université de Ouargla, Algérie, 150 p.

Effets des boues résiduaires et de sucrerie sur les propriétés du sol et la productivité de l’orge (Hordeum Vulgare L. var. Jaidor)

D. Goléa[1], L. Tamrabet[3], M. Kribaa[3], N. Ababsa[3], S. Boudjabi[3], S. Tamrabet[2]
[1]Laboratoire CAM, Université L. Ben Mhidi, Oum El Bouaghi (04000) Algérie
[2]Département de Chimie, Université L. Ben Mhidi, Oum El Bouaghi (04000) Algérie
[3]Laboratoire RNAMS, Université L. Ben Mhidi, Oum El Bouaghi (04000) Algérie
[4]Département de Hydraulique, Université L. Ben Mhidi, Oum El Bouaghi (04000) Algérie
Tél/Fax : 032 429039/0667779137
Email : d69_golea@yahoo.fr

RESUME
Une expérimentation a été conduite sous serre en plastique au Département des Sciences de la Nature (Université d’Oum El Bouaghi, NE Algérie), au cours de l’année universitaire 2008/2009 pour étudier l’influence des apports de deux types de boue résiduaire, âgées de six et vingt deux mois, et une boue de sucrerie sur les propriétés du sol et la productivité d’une graminée fourragère, l’orge (*Hordeum vulgare* L.) variété Jaidor. L’étude a été réalisée dans des pots en plastique d’une contenance de 9000 g, portant 13 plantes chacun. Les doses apportées des différentes boues étudiées sont zéro, 20 et 50 tonnes/ha pour chaque amendement. Les variables mesurées concernent particulièrement le pH, la conductivité électrique, la matière organique du sol ainsi que la hauteur totale de la plante, la surface foliaire, la biomasse aérienne accumulée, la longueur d’épi, le nombre de grains par épi, le nombre d’épis/m^2 et le poids de 1000 grains produits.
Les résultats montrent que les propriétés physicochimiques du sol sont positivement plus affectées par les apports des deux types de boue résiduaires mais légèrement par celle de sucrerie. Les paramètres morphologiques et le rendement de la variété d’orge répondent positivement mieux aux apports de boue2 (âgée de 22 mois) mais ne montrent aucune réaction aux apports de boue de sucrerie. L’addition de la boue résiduaire améliore fortement l’efficience d’utilisation de l’eau chez l’orge.
Mots clés : biomasse, boue résiduaire, boue de sucrerie, Orge, surface foliaire.

SUMMARY
Experiment was conducted under controlled environment at the university Ben Mhidi (Oum El Bouaghi, NE Algeria) during the 2008/2209 academic year to investigate the effect of sewage sludge applications on growth of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivar Jaidor. The study was done using plastic pots of 9000g countenance as elementary plot, seeded with 13 kernels per pot. Sewage sludge doses applied were the equivalent of zero, 20 and 50 t/ha for every amendment. Measured variables were pH, electric conductivity and organic matter for the soil, in addition to, plant height, leaf area, accumulated above ground biomass, spike length,grain number per spike, spike number per m^2 and 1000 grains weight.
Results showed that the physicochemical properties of the soil were positively more affected by the two types of sewage sludge than by sugar plants. The morphological parameters and yield of barley responded, positively, better to doses of applied sewage sludge (22 months) but didn’t show any differences when amended by sugar plant sludge. Applications of sewage sludge improve effectively crop water use efficiency.
Key words: above ground biomass, Barley, leaf area, sewage sludge.

1. INTRODUCTION
Les activités humaines génèrent des déchets de plus en plus élevés, leur gestion pose de gros problèmes. De ce fait, il faut trouver les moyens comment les recycler. Les boues résiduaires sont les résultats inévitables du processus d'élimination des matières polluantes contenues dans l'eau usée. Elles comprennent en fait des déchets de nature très variée selon les étapes du traitement et selon le procédé de traitement pratiqué dans les installations. Une fois traitée, la boue résiduaire peut être valorisée en agriculture (Ademe, 2000; Jarde, 2002 ; Chatha, 2002 ; Tamrabet et al, 2006).
En effet, l’utilisation agricole des boues résiduaires répond, d’une part, au besoin en matière organique qui dans les conditions climatiques des pays sud méditerranéen sont rapidement minéralisées, au besoin d’entretien organo-minéral des sols dont le déficit est accéléré par les techniques modernes de

production et d’autre part, aux potentialités du sol en tant que système épurateur et de recyclage (Dudkkwski, 2000, Benmouffok et al, 2005).

En effet, les sols traités avec des boues résiduaires gardent plus longtemps l’humidité et la végétation installe sur de tels sols un système racinaire plus développé comparativement aux sols non traités (Tester et al, 1982). Les boues résiduaires libèrent progressivement les éléments nutritifs et notamment l’azote pour le mettre à la disposition de la plante tout le long du cycle de la culture. La libération de l’azote est fonction des conditions climatiques prévalantes, des quantités de boues apportées et du rapport C/N (Barbartik, 1985 ; Pescod, 1992 ; Jamil et al, 2006).

Les différentes études, se rapportant à l’application des boues résiduaires sur les sols agricoles, montrent qu’elles peuvent être une source de pollution des eaux souterraines lorsqu’elles sont chargées en nitrates (Revel, 1993 ; Xanthoulis, 1998), de salinité du sol (Tasdilas, 1997), de pollution aux métaux lourds (Aboudrare et al, 1998 ; Bozkurt at al, 2003 ; Mohammed et al, 2004) et d’odeurs désagréables (Revel, 1993 ; Sachon, 1995).

Dans l’industrie agro-alimentaire, la fabrication du sucre, issu de la betterave sucrière, produit des déchets tels que l’écume qui voie son utilisation dans l’amendement des sols agricoles (Techniques Agricoles, 1984). La présente contribution se propose d’étudier la réponse d’une graminée fourragère l’orge (*Hordeum vulgare* L.) aux apports de trois types de boues résiduaires et de sucrerie.

2. MATERIELS ET METHODES

L’expérimentation a été conduite, dans un milieu contrôlé, sur le site expérimental du au Département des Sciences de la Nature (Université d’Oum El Bouaghi, NE Algérie), au cours de l’année universitaire 2008/2009. 27 pots de 24 cm de diamètre et de profondeur ont été remplis avec 9000 g de terre. Les vingt sept pots ont été subdivisés en neuf lots recevant deux types de boue (âgées de 6 et 22 mois), issues d’un traitement à boue activée des eaux usées de la station de Constantine (Nord Est de l’Algérie), à raison de l’équivalent de 0, 20 et 50 tonnes/ha et une boue d’industrie sucrière (âgée de plus de 24 mois) provenant de l’unité de production de sucre de Guelma (Nord Est de l’Algérie). Les trois types de boue séchés, émiettés et tamisés, ont été mélangés intimement avec la terre des 10 cm de surface de chaque pot de végétation. Le traitement de boues est répété trois fois. Une semaine après la préparation du milieu sol-boue, douze graines pré-germées ont été repiquées par pot de végétation le 13/01/2009. La levée a été notée le 20/01/09.

L’ensemble des pots de l’expérimentation ont été repartis selon un dispositif factoriel en blocs. Les pots de végétation sont irrigués régulièrement pour ramener le sol à une teneur en eau de 80% de la capacité au champ dont la valeur a été préalablement déterminée au début de l’expérience. La méthode gravimétrique a été utilisée en saturant un pot rempli de terre avec de l’eau plate puis on détermine le poids humide et sec 24 heures après ressuyage. Les apports d’eau sont effectués sur une base hebdomadaire, en suivant la variation de l’humidité des pots de végétation par des prises d’échantillons de sol de 20 g. Dans l’expérience étudiant l’effet des boues résiduaire et de sucrerie, les plantes sont irriguées avec de l’eau plate.

Les analyses physicochimiques de l’eau d’irrigation, sol, boues résiduaire et sucrerie ont été réalisées par les techniques appliquées pour l’analyse de l’eau et des sols au niveau du laboratoire du département d’écologie et environnement. Les méthodes d’analyses utilisées dans la détermination des différents paramètres sont données au tableau 1. Les caractéristiques de l’eau d’irrigation, sol et boues sont résumés aux tableaux 2 et 3.

Le pH, la conductivité, la salinité, et la matière organique du sol ont été réalisés au début et à la fin de l’expérience, tandis que le pH et conductivité électrique du sol ont été suivis une fois par quinzaine pendant le cycle de l’expérimentation.

Tableau 1. Méthodes utilisées dans l’analyse de l’eau d’irrigation, sol, boues résiduaires et déchets de betterave

Paramètres	**Unités**	**Méthode d’analyse**
		1. Eau
pH		Electrométrie, norme NF T 90-008
CE (25 °C)	µS/cm	Electrométrie, norme NF T 90-031
Salinité	mg/l	Electrométrie
Turbidité	FTU	Néphélométrie
Cl^-	mg/l	Titration, NF T90-014
NO_3^-	mg/l	Colorimétrie
NH_4^+	mg/l	Colorimétrie
PO_4^{2-}	mg/l	Colorimétrie
SO_4^{2-}	mg/l	Gravimétrie
Dureté	mg/l $CaCO_3$	Volumétrie, norme NF T90-003
Ca	mg/l	Spectrophotométrie à flamme
K	mg/l	Spectrophotométrie à flamme
Na	mg/l	Spectrophotométrie à flamme
		2. Sol, boues résiduaires et de sucrerie
pH		Electrométrie
CE	µS/cm	Electrométrie
Salinité	mg/l	Electrométrie
C	%	Anne
MO	%	C (%) x 2
$CaCO_3$	%	Gazométrie (Calcimètre de Bernard)
NO3	mg/l	Colorimétrie
NH4	mg/l	Colorimétrie
PO4	mg/l	Colorimétrie
K	mg/l	Spectrophotométrie à flamme
Na	mg/l	Spectrophotométrie à flamme

Tableau 2. Caractéristiques physicochimiques de l’eau d’irrigation

Paramètres	pH	CE	Salinité	Turbidité	Cl	NO_3	NH_4	PO_4	SO_4	Ca	K	Na	SAR
Unités	-	µS/cm	mg/l	FTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	Mg/l	mg/l	mg/l	-
Valeurs	7.51	1510	840	3.14	390.5	3.05	0.30	2.17	73.18	147	5.9	116	2.02
Val. Max(*).	8.4-6.5	250-3000	450-2000	<5	350	10	<5	<2	100	<400	<2	460	<9

(*) Valeurs maximales adimissibles, FAO (Ayers et Westcot, 1985)

Tableau 3. Caractéristiques physicochimiques du sol, boues résiduaires et de sucrerie utilisés dans l’expérimentation

Paramètres	pH	CE	Salinité	C	MO	$CaCO_3$	NO_3	NH_4	PO_4	K	Na
Unités	-	µS/cm	mg/l	%	%	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Sol	7.9	207	110	0.52	1.05	11.6	46.3	1.43	2.1	5.4	86
Boue1 (~6 mois)	8.33	2090	1110	16.8	33.5	13.39	51.87	78.35	19.54	-	-
Boue2 (> 24 mois)	7.54	1410	770	13.8	27.6	12.94	149.34	61.85	9.86	-	-
Boue3 (de sucrerie)	7.67	390	207	2.09	4.17	-	18.01	0.46	1.97	-	-

Début Juin 2009, l’expérience a été arrêtée. La végétation des pots a été récoltée, mise dans des sachets en papier kraft et ramenée au laboratoire pour des mesures biométriques. Une partie du sol des pots a servi aux analyses physicochimiques.

Le suivi de la végétation a porté sur la mesure de la hauteur de la plante, la surface foliaire, la longueur de l’épi, le nombre d’épis/m^2, le nombre de grains par épi, la biomasse aérienne et le poids de 1000 grains qui est estimé sur la base du poids de 250 graines comptées du produit récolté par répétition.

Toutes les données prises sur les trois répétitions ont été soumises à une analyse de la variance à un facteur étudié (amendement). Lorsque l’analyse de variance a une différence significative à un niveau de signification et pour savoir les traitements considérés qui diffèrent significativement, on effectue une comparaison des moyennes de ces traitements à l’aide du test de Newman et Keuls. La réalisation des calculs est effectuée à l’aide du logiciel *Assistat*.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats d’analyse de l’eau d’irrigation sont illustrés dans le tableau 2. Les valeurs moyennes des variables physicochimiques de l’eau d’irrigation montrent qu’elles sont bien acceptables respectant les normes des eaux d’irrigation (OMS, 1989 ; Ayers et al, 1985), à l’exception des chlorures et du potassium qui se trouvent en quantités légèrement excessives. Ceci n’impose pas de restrictions à leur utilisation pour l’irrigation.

Les caractéristiques du sol et boues sont données au Tableau 3. Le sol utilisé dans l’expérimentation est légèrement alcalin, carbonaté et moyennement dépourvu de matière organique. La boue1 (~6mois) présente des teneurs élevées en matière organique et en sels, la boue2 (~22 mois) est riche, au moment l’expérimentation, en nitrates et en matières organique, quant à la boue3 (boue de sucrerie), elle est relativement dépourvu de matière organique, déficitaire en phosphore.

L’analyse de variance indique un effet traitement très significatif (au seuil de 1%) pour l’ensemble des variables mesurées du végétal mis à par la hauteur totale (HT) et la longueur (LF) de feuille (Tableau 4). La signification de l’effet traitement sur la surface foliaire (SF) est due à essentiellement à la largeur de la feuille où leur classement donne l’ordre décroissant suivant : T8>T5>T6>T1>T2=T3>T4>T0>7 pour (LF) et T8>T6>T2>T1>T3>T5>T4>T0>T7 pour (SF). La signification de ‘effet traitement sur le nombre d’épis/m^2 et la biomasse aérienne de l’orge peut être expliquée par la forte capacité de tallage herbacé et la densité élevée du feuillage (Tamrabet at al, 2003; Boudjabi et al, 2006) et le classement de ces paramètres donne l’ordre décroissant suivant : T4>T1>T2>T0>T6>T7>T5 pour (NE/m^2) et T4>T3>T1>T0>T6>T7>T5>T8 pour (BIOM).

Le nombre de grains par épi (NG/E) est intimement lié à la longueur de l’épi (LE). Les traitements T1 (boue1, 20 t/ha) et T6 (boue3, 50 t/ha) montrent une supériorité quant à l’expression du nombre de grains par épi (NG/E) avec des valeurs identiques de 49.66 grains par épi et de longueur de l’épi (LE) avec 6.86 et 7.44 cm respectivement. le classement de ces variables donne l’ordre décroissant suivant : T1=T6>T2>T4>T3>T0>T7=T8>T5 pour (NG/E) et T6>T2>T1>T4>T3>T0>T5>T8>T7 pour (LE).

Le nombre de grains par épi (NG/E) est intimement lié à la longueur de l’épi (LE). Bien que la longueur d’épi (LE) est, d’une part, une caractéristique variétale, les conditions nutritionnelles, richesse des boues en éléments d’azote et de phosphore, d’autre part, contribuent énormément à l’expression de ce paramètre (Boudjabi et al, 2006).

Dans lesconditions culturales et climatiques de l’expérimentation, la contribution relative de l’amendement organique, (moyenne des effets boue1, boue2 et boue3) à l’augmentation des moyennes des variables varie de 103.5% et 24.2% pour le poids de 1000 grains à 141.5% et 253.6% pour la biomasse aérienne produite (effet boue2) par rapport à l’amendement minéral et témoin respectivement, (Figures 1 et 2).

Tableau 4. Carrés moyens de l’analyse de variance et comparaison des moyennes des variables mesurées sur l’expérimentation

	HT	LF	lF	SF	NE/m^2	LE	NG/E	BIOM	PMG
T_0	73.5 a	18.57 a	1.30333 ab	11.82 b	133 d	5.58 ab	38.0 bc	46.66 c	45.07 b
T_1	50.44 a	21.06 a	1.45000 ab	15.28 ab	465 b	6.86 a	49.66 a	148.33 ab	53.16 a
T_2	55.97 a	22.88 a	1.35000 ab	15.42 ab	231.33 c	6.88 a	47.33 ab	129.66 b	45.34 b
T_3	63.52 a	19.84 a	1.35000 ab	13.48 ab	486.33 b	6.66 ab	42.33 ab	156.66 a	54.49 a
T_4	62.91 a	19.95 a	1.25333 b	12.5 b	563.33 a	6.77 ab	45.66 ab	173.33 a	57.46 a
T_5	65.5 a	18.14	1.47667 ab	13.38	121.0 d	5.16	25.33 d	31.66 c	12.40 cd

		a		ab		ab			
T_6	67.36 a	21.55 a	1.46667 ab	15.81 ab	132.66 d	7.44 a	49.66 a	43.33 c	9.97 d
T_7	66.77 a	20.25 a	1.10333 b	11.19 b	123.0 d	4.27 b	28.33 cd	38.33 c	11.5 cd
T_8	60.27 a	21.16 a	1.750 a	17.95 a	111.66 d	4.33 b	28.33 cd	30.00 c	16.0 c
(1)	136.68^{ns}	6.57^{ns}	0.09681^{**}	14.25^{**}	104413.95^{**}	4.23^{**}	287.39^{**}	11278.83^{**}	1298.47^{**}

(1) Carrés moyens; T_0 : témoin, T_1 : boue1 (20 t/ha), T_2 : boue1 (50 t/ha), T_3 : boue2 (20 t/ha), T_4 : boue2 (50 t/ha), T_5 : Boue3 (20 t/ha), T_6 : Boue3 (50 t/ha), T_7 : azote (35 kg/ha), T_8 : : azote (70 kg/ha) ; HT : hauteur totale de la plante (cm), LF : longueur de la feuille (cm), lF : largeur de la feuille (cm), SF : surface foliaire (cm^2), NE : nombre d’épis / m^2, LE : longueur d’épi (cm), NG/E : nombre de grains par épi, BIOM : biomasse aérienne à maturité (g/pot), PMG : poids de 1000 grains (g/pot) ; ns, ** effet non significatif et significatif au seuil de 1% respectivement.

Dans les conditions de la présente expérimentation, l’augmentation du poids de 1000 grains (PMG), uniquement, sous amendement organique de boue1 et boue2 indique que l’apport de la boue résiduaire met à la disposition de la plante suffisamment mais sans excès de macro et oligo-éléments qui sont nécessaires à son développement. Chez la boue3, la dose (50 t/ha) semble induire d’effets nocifs sur l’expression du paramètre mentionné et l’apport de fertilisation minérale montre moins de sensibilité à l’expression du PMG. Ce dernier peut être expliqué par l’ajout tardif de l’azote minéral.

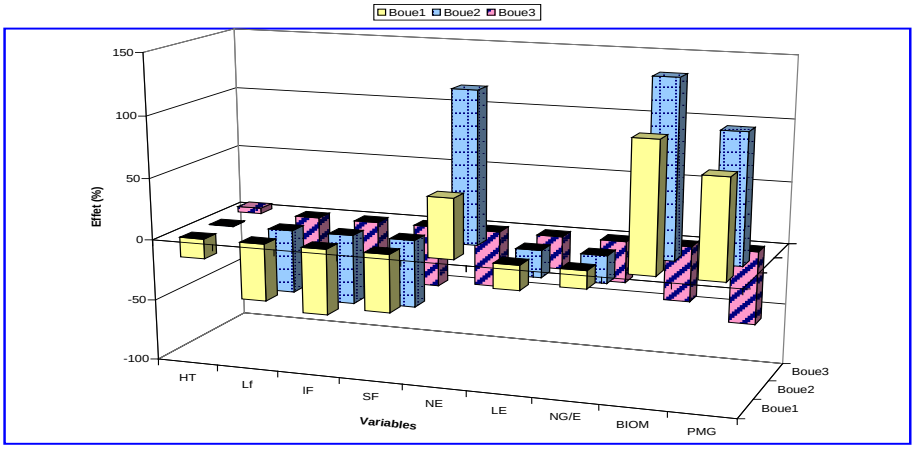


Figure 1. Contribution de l’amendement (Boue1, Boue2, Boue3) à l’augmentation relative des moyennes des variables mesurées comparativement à celles du traitement N

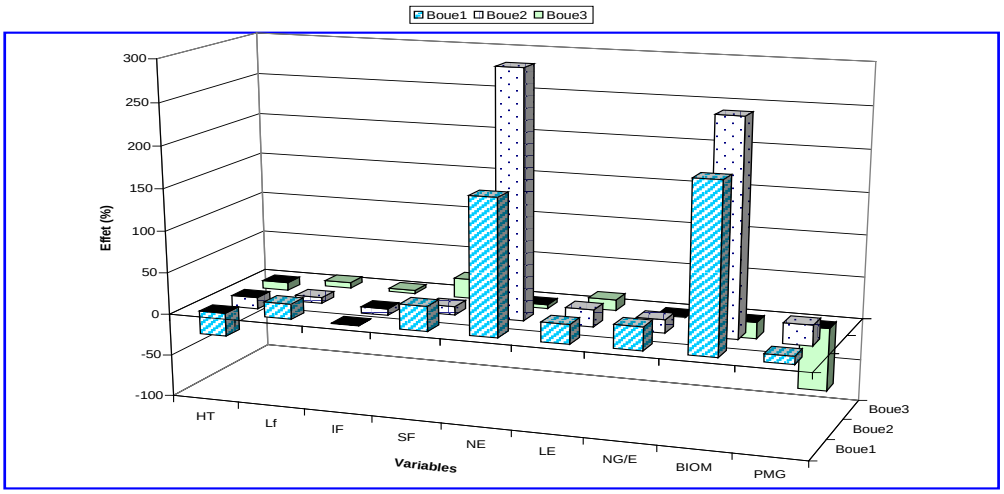


Figure 2. Contribution de l’amendement (Boue1, Boue2, Boue3) à l’augmentation relative des moyennes des variables mesurées comparativement à celles du témoin

Comme la biomasse aérienne est la résultante de toutes les variables mesurées, c’est la réponse de ce caractère qui est indicatrice du niveau maximal de l’apport de boue résiduaire. Les résultats de la présente étude montrent que ce niveau semble se situer entre les boue1 et boue 2. L’effet traitement sur les différentes variables étudiées du sol est significatif à l’exception du pH, légèrement alcalin, qui peut se justifier par l’effet tampon du sol en place et qui ne semble pas produire d’effet dépressif pour la culture. Tandis que la conductivité électrique et la salinité du sol ont augmenté pour l’ensemble des traitements par des valeurs variant de 376 µS/cm (198 mg/l) pour T7 et 1245 µS/cm (660 mg/l) pour T2. le taux de matière organique a augmenté sensiblement dans les traitements de boues ave des valeurs variant entre 0.75% pour T8 et 6.60% pour T2. L’apport de boue de sucrerie, chaulée, au sol se distingue par sa carence en matière organique et en phosphore. Même en cas de sa richesse en nutriments, il se peut que la présence des teneurs élevées de calcaire bloquera l’évolution de la matière organique et fixera le phosphore qui provoquera, par la suite, un effet dépressif sur les cultures.

Tableau 5. Caractéristiques physicochimiques du sol avant et après l’expérimentation

	pH	**CE (µS/cm)**	**Salinité (mg/l)**	**C org (%)**	**MO (%)**
				1. Sol initial avant l’expérimentation	
Sol initial	7.9	207	110	0.52	1.05
				2. Sol après l’expérimentation	
T_0	7.64	441	236	0.52	1.05
T_1	7.45	587	312	1.95	3.9
T_2	7.43	1245	660	3.30	6.60
T_3	7.43	654.5	348	3.15	6.3
T_4	7.49	610	324	1.96	3.93
T_5	7.5	706	375.5	1.57	3.15
T_6	7.48	488	261	1.25	2.25
T_7	7.10	376	198	0.915	1.83
T_8	7.28	485	259	0.375	0.75

T_0 : témoin, T_1 : boue1 (20 t/ha), T_2 : boue1 (50 t/ha), T_3 : boue2 (20 t/ha), T_4 : boue2 (50 t/ha), T_5 : Boue3 (20 t/ha), T_6 : Boue3 (50 t/ha), T_7 : azote (35 kg/ha), T_8 : : azote (70 kg/ha) ; CE : conductivité électrique (µS/cm) ; Corg : Carbone organique (%) ; MO : matière organique (%).

L’étude de l’efficience d’utilisation de l’eau montre que l’orge répond fortement à l’apport de la boue1 (50 t/ha) et boue2 (25 t/ha) et que cette réponse devient relativement faible entre le témoin et l’apport (Boue3). Ainsi pour Jaïdor, le taux d’économie en eau atteint 46% dans T5 (Boue3, 20 t/ha) et 30% en T2 (Boue1, 20 t/ha) par rapport au témoin (Figure 3). Ceci peut être expliqué essentiellement par la capacité de la boue à retenir l’eau et à réduire le taux d’évaporation d’eau de la surface du sol.

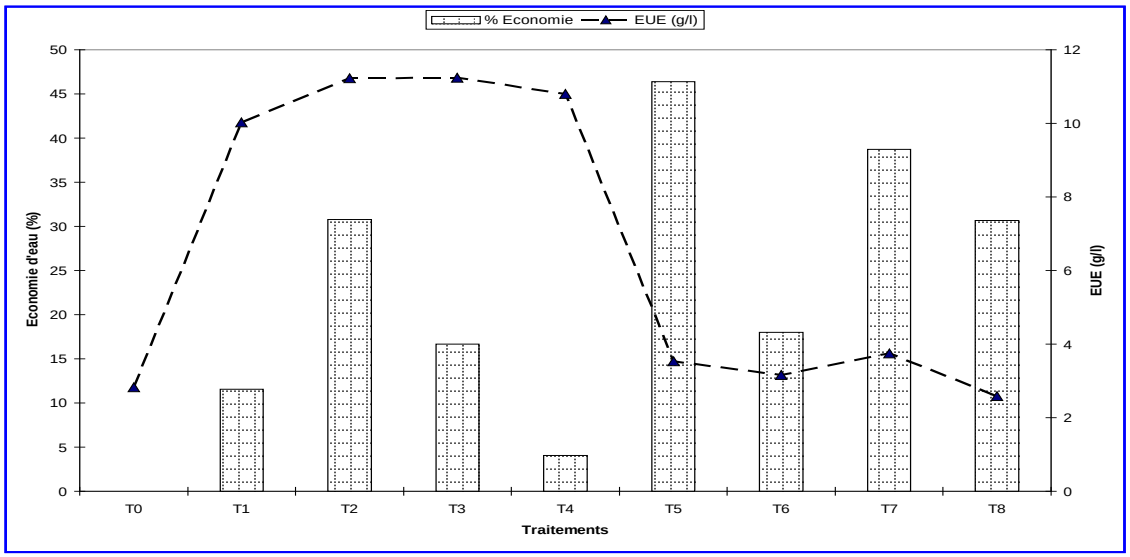


Figure 3. Evolution de l’efficience d’utilisation de l’eau chez la variété Jaidor suivant les traitements (EUE : efficience d’utilisation de l’eau (g/l))

L’utilisation des boues résiduaires domestiques pour améliorer la production agricole constitue sûrement à cet effet une démarche séduisante.

Tester et al. (1982) conduisent une expérimentation pour étudier la réponse la fétuque élevée aux apports de boue et d’eaux usées. Ils notent que l’amendement du sol avec les boues des eaux résiduaires améliore la nutrition azotée de la fétuque, comme elle stimule la croissance racinaire en comparaison avec la végétation d’un sol non amendé. Chez le ray grass, Guirard et al. (1977) observent une augmentation de la concentration de l’azote dans les tissus des plantes conduites sur sol amendé avec des boues résiduaires. Cherak (1999) note un amélioration de la capacité de tallage herbacée chez l’avoine conduite sur sol amendée avec des boues résiduaires.

La boue est considérée comme un substrat susceptible de contribuer au maintien du stock humique des sols et par conséquent d’améliorer leur stabilité structurale, leur capacité d’échange cationique et leur capacité de rétention d’eau (Gomez et al. 1987). Kirkham (1974) note que les apports de boue au cours de 4 années successives ont élevé la teneur en matière organique du sol des 15 premiers cm de surface de 1,2 à 2,4%. Selon Sachon (1995) la boue résiduaire incubée développe des réactions chimiques aérobiques et anaérobiques qui, au bout de 6 à 7 semaines réduisent la matière organique sous forme de compost qui est lui même assez proche de l’humus. La minéralisation de l’azote organique est dépendante dans ce cas du rapport C/N, plus ce dernier est élevé, plus la minéralisation est lente. Une tonne de matière sèche boue libère en moyenne 14 Kg d’azote, 15 kg de P et 8 kg de K (Sachon, 1995). Ces résultats montrent que la valeur agronomique des boues est liée aux éléments minéraux qu’elles libèrent et à la matière organique qu’elle apporte au sol pour améliorer sa stabilité.

4. CONCLUSION

L’apport de boues résiduaires a amélioré nettement les rendements en grains et en paille de l’orge, tandis l’apport de boue de sucrerie a produit un effet négatif sur l’ensemble des variables mesurées. Les apports d’un mélange (boue résiduaire et boue de sucrerie) au sol peuvent aboutir à des résultats meilleurs.

L’apport de boue résiduaire a, positivement, affecté l’efficience d’utilisation de l’eau chez l’orge. L’effet d’apport de boue sur le les caractéristiques physico-chimiques et organiques du sol nécessite plus de temps pour son évaluation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Aboudrare N, Jellal, Benchokroun T, Jemali A. (1998) : Réutilisation des eaux usées à des fins agricoles à Ouarzazate. Terre et Vie 26: 7-12.

-Ademe (2000) : Les boues d’épuration municipales et leur utilisation en agriculture. Dossier Doc. 59 pages.

-Barbarti A, Lawarabnce JR, Sikpra J, Colacicco C. (1985) : Factors affecting the mineralization of nitrogen in sewage sludge applied to soil. Am. J. Soil Sci. 49: 1403-1406.

-Blum A, (1985) : Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a mediterranean environment. Aust. J. Agric. Res. 37 : 299-310.

-Boudjabi S, Kribaa M, Tamrabet L. (2006) : Contribution des boues résiduaires à la fertilité du sol et à la production fourragère de l’orge. EMwater, Amman, Jordan.

-Bouzerzour H, Benmahammed A. (1994) : Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateaux of eastern Algeria. Rachis, 12 : 11-14.

-Bouzerzour H, Tamrabet L, Kribaa M. (2002) : Réponse de deux graminées fourragères aux apports d’eau usée et de boue résiduaire. In actes Séminaire international de Biologie et Environnement, Univ. de Constantine, Algérie, 20-22/10/2002.

-Bozkurt MA, Yarilgaç T. (2003) : The effects of sewage sludge applications on the yield, growth, nutrition and heavy metal accumulation in apple trees growing in dry conditions. Turk. J. of agricultural Forestry. 27:285-292.

-Chatha TH, Haya R, Latif I. (2002) : Influence of sewage sludge and organic manures application on wheat yield and heavy metal availability. Asian J. of Plant Sciences 1(2): 79-81.

-Cherak L. (1999) : Incidences des eaux usées résiduaires sur la microflores et le comportement de l’avoine. Thèse magister Université de Batna, 110 pages.

-Gomez A, Lineres M, Tanzin J, Solda P. (1984) : Etude de l’incidence des apports de boues résiduaires à des sols sableux, sur l’évolution quantitative et qualitative de la matière organique. CR Acd. des Sciences 516-524.
-Guiraud G, Fardeau JC, Hetier JM. (1977) : Evolution de l’azote du sol en présence de boues résiduaires. 1ier Symposium sur la recherche sur les sols et les déchets solides.
-Jamil M, Qacim M, Umar M. (2006) : Utilization of sewage sludge as organic fertilizer in sustainable agriculture. J. Of Applied Sc. 6(3):531-535.
-Mohammad MJ, Athamneh BM. (2004) : Changes in Soil Fertility and Plant Uptake of Nutrients and Heavy Metals in Response to Sewage Sludge Application to Calcareous Soils. J. of Agronomy 3(3): 229-236.
-OMS. (1989) : L’utilisation des eaux usées en agriculture et aquaculture: Recommendations à avisées sanitaires. Rapport d’un groupe scientifique de l’OMS. Série technique 778.
-Oweis PJM, Keatinge JDH, Hughes G. (1998) : Crop evaporation. A technique for calculation of its components by field measurement. Plant and soil .17: 99-112.
-Revel JC. (1993) : Boues de station d’épuration et sylviculture. Etude bibliographique. Compagnie Générale des Eaux. 34 pages.
-Sachon S. (1995) : Les boues des stations d’épurations urbaines, Utilisation en agriculture. BTI, 21: 14-29.
-Ripert C, Tiercelin JR, Navrot C, Klimo E, Gajarszki G, Cadillon M, Tremea L, Vermes L. (1990) : Utilisation agricole et forestière des eaux usées domestiques. Cemagref 79:18.
-Tamrabet L, Bouzerzour H, Kribaa M, Gloéa D. (2003) : Le devenir des boues résiduaires : Effet des apports de boue résiduaire sur la production de deux graminées fourragères. Hydrotop. Marseille, France. pp. 88-90.
-Tamrabet L, Bouzerzour H, Kribaa M, Makhlouf M. (2007) : Response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Acsad 1107 to sewage sludge amendment under semi arid climate**.** Options méditerranéennes, Wasamed, CIHEAM. Valenzano, Italy. SessionIII. pp. 173-180.
-Tasdilas CD. (1997) : Impact of waste water reuse on some soil properties. Inter. Conf on water management, salinity, and polution control towards sustainable irrigation in the mediterranean region. CIHEAM/Mai-B. 213-226.
-Techniques Agricoles (1984) : Utilisation agricole des déchets urbains et industriels et problèmes de pollution lies à l’environnement. TA. 1390(12) 1-18.
-Tester CF., LJ. Sikora, JM., Taylor, JF., Parr (1982) : N Utilization by tall fescue from sewage sludge, compost amended soils. Agro. J. 74:1013-1018.

Assessment of spatial and temporal variations of water quality parameters of Oued El Gourzi for suitability to irrigation uses

L. Tamrabet[1,2], D. Goléa[3], M. Kribaa[1], N. Marouf[4], N. Ababsa[1], S. Boudjabi[1], S. Tamrabet[5]
[1]Laboratoire RNAMS, Université Larbi Ben Mhidi, Oum El Bouaghi (04000), Algérie
[2]Faculté des Sciences, Université El Hadj Lakhdar, Batna (05000), Algérie
[3]Laboratoire CAM, Université Larbi Ben Mhidi, Oum El Bouaghi (04000), Algérie
[4]Département d'Hydraulique, Université L.Ben Mhidi, Oum El Bouaghi (04000), Algérie
[5]Département de Chimie, Université L.Ben Mhidi, Oum El Bouaghi (04000), Algérie
Email: ltamrabet@yahoo.ca

SUMMARY
The high plateaus of Algeria, with an average rainfall of less than 400 mm, are an area that suffers critically from a shortage of water resources.The city of Batna (NEastern Algeria), an urban area, releases high amount of partially treated and untreated sewage to the Oued El Gourzi. An average amount of 11 x 10^6 m^3 of treated and untreated sewage is discharged annually into this river, which is the main water source for the downstream agricultural sector. The aim of the present study was to assess, in dry and wet seasons, the water quality flowing into Oued El Gourzi (Batna, NEastern Algeria)for suitability to irrigation uses. Water sampling sites include locations of the main effluent discharges (E_1, E_2 and E_3) as well as the points where El Gourzi effluents were supplied for irrigation purposes (E_4, E_5, E_6 and E_7). The distance from the first sampling site and the last one is about 25 km. Water was sampled from January to June, on four sampling periods (S_1= January 9^{th}, S_2= March 1^{st}, S_3= April 17^{th} and S_4= June 2^{nd}). Standard procedures were followed for the water physicochemical and bacteriological analyses (temperature, pH, electric conductivity, salinity, dissolved oxygen, BOD, COD, suspended solids, turbidity, nitrate, ammonium, orthophosphate, chloride, alkalinity, Calcium, magnesium, sodium, hardness and total coliforms, fecal coliforms, fecal streptococcus, salmonella and vibrio cholerae).
The results showed that the El Gourzi water exhibited high levels of suspended solids, BOD, nitrate, ammonium, phosphorus and fecal contamination which present a threat to waters, soil and aquatic organisms of the receiving environment. Almost all the water variables concentrations increased toward the main effluents discharge in the El Gourzi stream (E_1 and E_2) and were higher in dry periods. US Laboratory Salinity Staff diagram classifies El Gourzi waters as $C_3S_1 - C_3S_2$ and C_4S_1 - C_4S_2 in wet and dry periods respectively. Wilcox diagram reveals that El Gourzi waters are of permissible and doubtful to unsuitable types in wet and dry periods respectively. To reduce the risk of adverse impacts, special management of salinity control and selection of plants with good salt-tolerance should be considered.
Keywords: irrigation, plants, pollution, semi-arid, wastewater contamination

RESUME
Les hauts plateaux de l'Algérie, avec une pluviométrie moyenne de moins de 400 mm, sont considérés comme une zone qui souffre sensiblement d'un manque de ressources en eau. La ville de Batna (Nord Est de l'Algérie), un centre urbain qui évacue annuellement l’équivalent de 11 x 10^6 m^3 d’eaux usées brutes et partiellement traitées, dans l’Oued El Gourzi. Ces eaux constituent la source principale d'eau d’irrigation pour les agriculteurs situés en aval de la ville.La présente étude avait pour objectifs d’évaluer dans l’espace et dans le temps la qualité physico chimique et bactériologique les eaux usées de l’Oued El Gourzi, issues des rejets de la ville de Batna et des localités limitrophes, et d’étudier leur aptitude à l’usage agricole.
Pour évaluer la qualité des eaux usées d'Oued El Gourzi, sept sites de prélèvement ont été échantillonnés pendant la période d'étude allant du mois de janvier au mois de juin au cours du quelle quatre campagnes (S_1= 9 Janvier, S_2= 1^{er} Mars, S_3= 17 Avril at S_4= 2 Juin) ont été établies. Ces sites de prélèvement sont désignés par E_1 à hauteur de la zone industrielle et de Kchida, E_2 à l'entrée des eaux brutes de la ville, par E_3 à la sortie des eaux traitées la STEP de Batna.La zone d’utilisation des eaux usées est désignée par quatre points qui sont : E_4, E_5, E_6 et E_7.
Les eaux de l’Oued ont fait l’objet d’analyses physicochimiques : le pH, la conductivité électrique, l'oxygène dissous, la DBO, la DCO, les matières en suspension, la turbidité, la dureté, l’alcalinité, les

nitrates, l’ammonium, les orthophosphates, les chlorures et les sulfates. L'analyse bactériologique a porté sur la quantification des paramètres d'origine fécale (coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux).
Les résultats ont montré que les eaux de l’Oued El Gourzi présentent des valeurs élevées des MES, DBO, NO_3^-, NH_4^+, PO_4^{3-} et de la contamination fécale, ce qui constitue une menace aux ressources en eau, sol, et aux milieux récepteurs. Presque toutes les variables de l’eau augmentent de l’aval vers l’amont de l’oued et sont plus élevées pendant la saison sèche. Le diagramme de l’ *US Laboratory Salinity Staff* classifie les eaux de l’Oued El Gourzi dans les catégories : $C_3S_1 – C_3S_2$ et C_4S_1 - C_4S_2 en temps de pluie et en temps sec respectivement. Le diagramme de *Wilcox* révèle que les eaux de l’Oued El Gourzi sont du type : admissible et douteux à mauvais en temps de pluie et en temps sec respectivement. Pour réduire le risque d'impacts défavorables, des mesures spéciales de contrôle de salinité et de sélection de plantes tolérantes à la salinité doivent être prises.
Mots-clés : contamination d'eaux usées, irrigation, plantes, pollution, semi-aride

1. INTRODUCTION

The ever-growing demands for water resources coupled with the rate at which much of the fresh water is being adversely affected by human activities, demonstrates a future developing crisis if environmental water resources are not appropriately managed (Bouziani, 2000). The high plateaus of Algeria, with an average rainfall of less than 400 mm, are an area that suffers critically from a shortage of water resources. Attention is being directed toward protecting the impoverished water resources for the sustainability of the economic development of this region which has high agricultural and industrial potentials (Kettab, 2001). Wastewater contains a large variety of wastes of domestic and industrial origins. The quality of such water is not always suitable to irrigate crop because of presence of many toxic chemicals (Ghafoor, 2004). More attention is being given to wastewaters as they acted as pollutants and contributed substantially to the destruction of the aquatic and terrestrial ecosystems (Morrison, 2001).Vegetables grown under irrigation with wastewaters contain many heavy metals, causing serious health hazards to both community and animals (Murtaza, 2003).This concern is of special importance, where untreated sewage is applied for longer periods to grow crops and vegetables in urban lands. Du Preez *et al.*,(Du Preez et al, 2000) mentioned that the Vaal River water quality, in South Africa, has deteriorated over the past 20 years because most of the wastewater of the surrounding densely populated cities was untreated and ended up in this river.
Historically, the Batna- Fisdis region is predominantly agricultural, but the last four decades witnessed a rapid increase in urban and industrial implantations at the expense of agriculture. The resulting growing anthropogenic activities, industrialization, farming and urban untreated discharges ended up in Oued El Gourzi which represents the principal sewage and runoff collector.The hydrological regime of Oued El Gourzi is very irregular and tightly linked to the precipitations. In summer, it carries solely domestic and industrial effluents and in wet seasons, it witnesses violent rise in water level followed by accelerated soil erosion of its basin (Zouita, 2002). Eleven millions m^3 of treated and untreated sewage, coming from the city of Batna, are discharged annually into Oued El Gourzi, which represents the main water source for the downstream agricultural sector of the Batna- Fisdis region (Cherak, 1999).
The Batna-Fisdis region has witnessed an important development in the agricultural sector, particularly after the introduction of wastewater irrigation. The present total area receiving wastewater, picked up from this river, for irrigation purpose exceeded 1073 ha. Crops irrigated with wastewater are vegetables, forage and cereals. El Gourzi effluents constitute for farmers an interesting alternative not only by their availability but also by their positive effects on crops and livestock productivity. In the long run, wastewater use could affect negatively groundwater, soils and crops quality, with adverse impacts on consumer’s health. In this context, the present study was conducted with the objective to investigate the temporal and spatial variation of the water quality parameters of El Gourzi watershed for suitability for irrigation uses.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Site description

The study was carried out in the region of Batna-Fisdis (Figure 1), located in the north eastern part of Algeria (6°15’E, 35°36’N, 850 m asl). This region is characterized by a semi-arid climate, with mean

monthly temperatures ranging from 6.6°C in the winter to 25.1°C in the summer. Annual precipitation, occurring mostly in winter, averaged 221.2 mm(ONM, 2006). The soils of the region are silty-clay, with high calcareous content (Cherak, 1999). Oued El Gourzi and its basin encompass many towns among which the major urban complex of the city of Batna with about 350000 inhabitants.

2.2. Sampling procedures and analyses

A short term field survey of Oued El Gourzi was carried out in order to locate the important sources of pollution. Water sampling sites include locations of the main effluent discharges, hereafter coded as E_1, E_2, E_3, E_4 and E_5 as well as the points where El Gourzi effluents were supplied for irrigation purposes, E_4, E_5, E_6 and E_7 (Figure 1). The distance from the first sampling site and the least one is about 15 km. Water was sampled from January to June on four unequally spaced sampling periods (S_1= January 9th, S_2= March 1st, S_3= April 17th and S_4= June 2nd). Water samples were collected in triplicate. The midstream surface water samples were collected using acid-washed, wide-mouth polyethylene plastic bottles. The samples were kept in a cool place over ice and transported to the laboratory for analysis. The selected parameters for the estimation of surface water quality characteristics were: temperature (T), pH, electrical conductivity (EC), Total suspended solids (TSS), Turbidity (Trb), Dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD_5), chemical oxygen demand (COD), hardness (Hrd), alkalinity (alk), chloride (Cl^-), nitrate (NO_3^-), ammonium (NH_4^+), orthophosphate (PO_4^{-3}), sulphate (SO_4^{-2}), calcium (Ca^{+2}), magnesium (Mg^{+2}), potassium (K^+), sodium (Na^+), total coliforms (TC), fecal coliforms (FC) and fecal streptococcus (FS). Standard procedures were followed for the collection and analysis of water samples (Rodier, 1996).

To evaluate the water quality for irrigation purposes, sodium adsorption ratio (SAR), sodium percentage (Na %) and residual sodium carbonates (RSC) values of the effluents were calculated using, respectively, the following equations [11; 12] :

$$SAR\ (meq/l)^{0.5} = Na^+ .[(Ca^{2+} + Mg^{2+})^{-1/2}/2]^{-1}$$

$$Na^+\ (\%) = 100(Na^+ + K^+).[(\ Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)^{-1}]$$

$$RSC\ (meq/l) = (HCO_3^- + CO_3^{2-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

where Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, HCO_3^-, CO_3^{2-} are expressed in meq.l^{-1}.

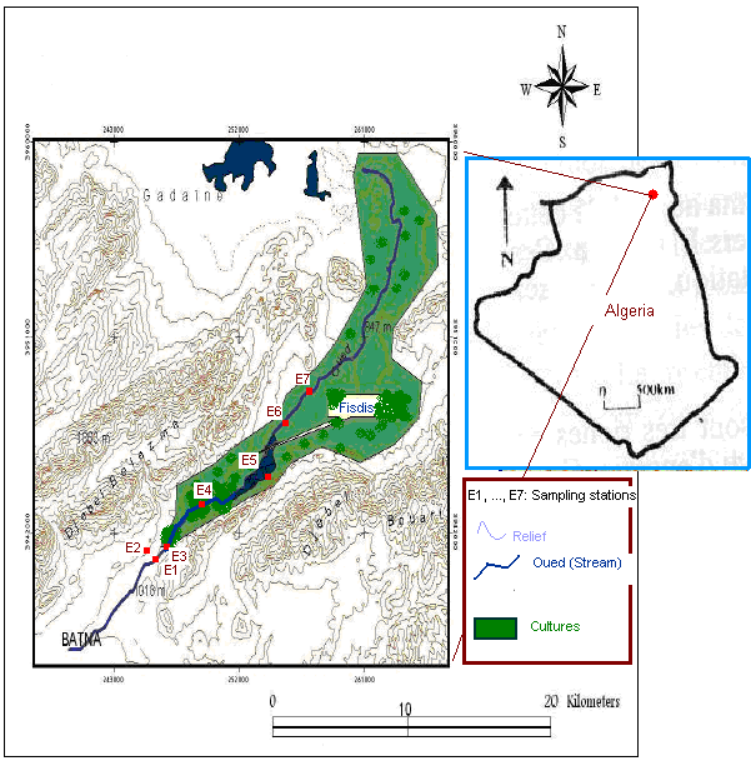


Figure 1. Map of the study area showing the sampling

2.3. Data analysis

A principal component analysis (PCA), a multivariate technique, was done to summarize the general trend in the variation of measured parameters. Statistical data analysis was performed using XLSTAT software program (XLSTAT, 2008).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Typology of El Gourzi water quality

About 75.85% of the total variance was explained by the first two principal components. The PCA_1 expressed an opposition between DO on one hand and Trb, Alk and NH_4^+ on the other hand. The PCA_2 was related positively to the PO_4^{-3} (Figure 2). PCA_1 represented the oxygenation gradient or the degree of water purity while PCA_2 brought information about the degree of water contamination. This phenomenon is better highlighted, along the PCA_1, by the water quality at the inlet and the outlet of the city’s treatment plant. This situation is differentiated, during the second and the third sampling periods, by the increasing pollution as a result of low stream flow. However, during the fourth sampling period, the increase in stream flow leads to a substantial dilution of contaminants and to more oxygen dissolution in water. Sites positioning, on both sides of the PCA_2 axis, shows the existence of two opposed major groups (Figure 3). The first group consists of E_3 which represents the outlet of the treatment plant, the station located on the positive side of the PCA_1 axis and which indicates enrichment in dissolved oxygen. The outlet of the city’s waste water treatment plant is differed from the other sampling sites by high values of dissolved oxygen, suggesting high reduction of organic load through activated sludge treatment. The second group includes the stations E_1 and E_2 which differed from the other sampling sites by their high levels of mineralization and turbidity.

Stations located downstream the wastewater treatment plant (WWTP) form a transition zone (E_4, E_5, E_6 and E_7) which is intermediate between water types in E_3 and in (E_1, E_2). The water chemistry in this zone results largely from mixing of well oxygenated, treated wastewater with raw and partially treated wastewater, with minor changes along the stream due to additional discharges or to environmental conditions. Nevertheless, the samples taken far from the main sites of discharge (E_1 and E_2) showed an improvement in water quality characteristics.

Water quality varied also according to the sampling seasons which showed the following increasing pattern water pollution: $S_2 > S_3 > S_1 > S_4$ (Figure 4).

Water DO is significantly correlated with Trb (r = -0.89), NH_4^+ (r = -0.91) and Alk (r = -0.88) (Table 1). The parameters, negatively correlated with the water DO, contribute to the water pollution. Measurements of alkalinity in polluted water consist largely of measurement of HCO_3^-(Cornaz, 2004).

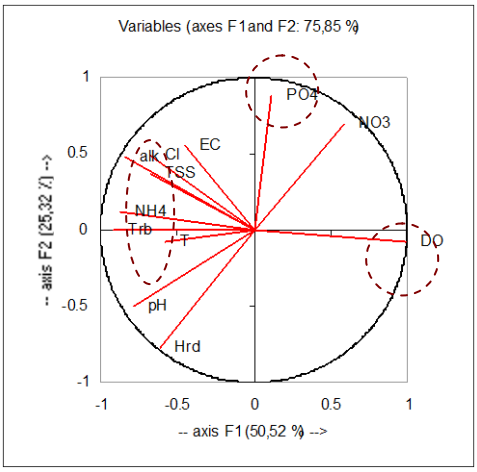


Figure 2. Plot of the 1st and 2nd principal components for the physicochemical measured variables

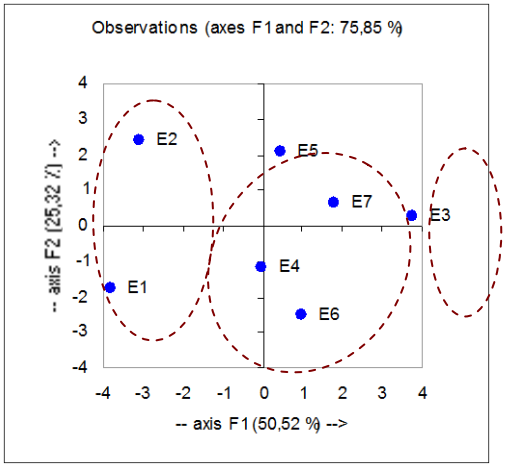
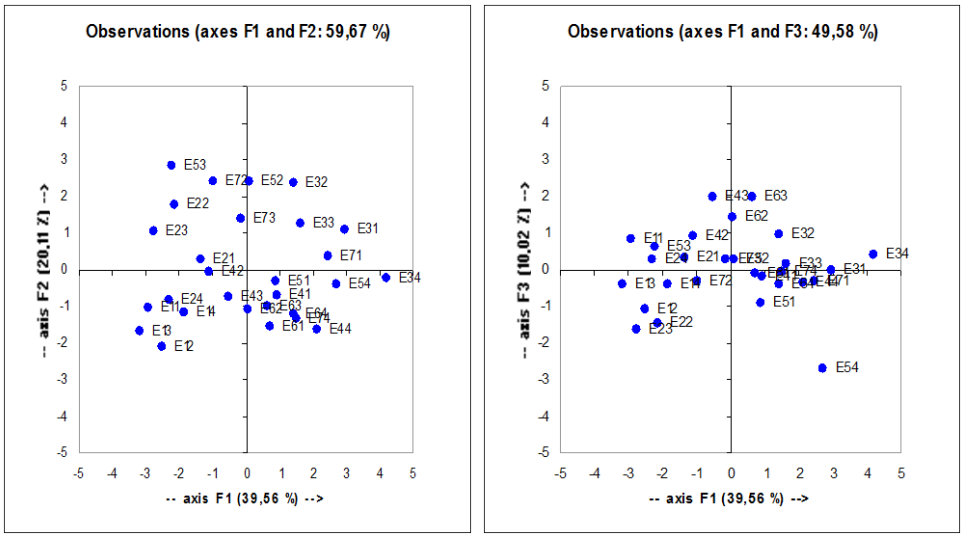


Figure 3. Plot of the 1st and 2nd principal components for the sites x sampling periods data

Table 1. Correlation matrix of the measured variables

	T	pH	EC	DO	TSS	Trb	NO3	NH4	PO4	Cl	alk	Hrd
T	1	0.193	**0.787**	-0.505	0.341	0.269	-0.461	0.600	-0.429	0.221	0.300	0.366
pH	0.193	1	-0.187	-0.753	0.414	**0.849**	**-0.770**	0.561	-0.384	0.302	0.476	**0.878**
EC	**0.787**	-0.187	1	-0.425	0.489	0.186	0.065	0.533	0.171	0.453	0.510	-0.203
DO	-0.505	-0.753	-0.425	1	-0.652	**-0.898**	0.486	**-0.919**	0.012	-0.712	**-0.881**	-0.564
TSS	0.341	0.414	0.489	-0.652	1	**0.780**	-0.214	0.434	0.333	0.390	0.680	0.069
Trb	0.269	**0.849**	0.186	**-0.898**	**0.780**	1	-0.504	0.682	0.012	0.570	**0.808**	0.546
NO3	-0.461	**-0.770**	0.065	0.486	-0.214	-0.504	1	-0.304	0.644	-0.109	-0.128	**-0.856**
NH4	0.600	0.561	0.533	**-0.919**	0.434	0.682	-0.304	1	-0.068	0.640	**0.788**	0.500
PO4	-0.429	-0.384	0.171	0.012	0.333	0.012	0.644	-0.068	1	0.354	0.357	-0.731
Cl	0.221	0.302	0.453	-0.712	0.390	0.570	-0.109	0.640	0.354	1	**0.900**	0.048
alk	0.300	0.476	0.510	**-0.881**	0.680	**0.808**	-0.128	**0.788**	0.357	**0.900**	1	0.154
Hrd	0.366	**0.878**	-0.203	-0.564	0.069	0.546	**-0.856**	0.500	-0.731	0.048	0.154	1

In bold, significant values (except diagonal) at the level of significance alpha=0,050 (two-tailed test)



E_{12}: Site 1 at the 2nd sampling period

Figure 4. Plots of the 1st and 2nd (left) and the 1st and the 3rd (right) principal components for the sites x sampling periods data

Cornaz (Cornaz, 2004) indicates that the bicarbonate represents an approximate indicator of the total mineralization. The increase in water mineralization becomes a limiting factor of oxygen dissolution in water, particularly when the water temperature is high, the microorganism metabolism is accelerated which generates increasing needs in oxygen.

3.2. Suitability of El Gourzi waters to irrigation use

The suitability of water for irrigation is dependent on the effects of its mineral constituents on both soil and plant (Todd, 1980). The criteria that were used to evaluate the quality of the El Gourzi water for use in irrigation are: salinity of the irrigation water for salt buildup in soil and its adverse effects on plant growth (Al-Khashman, 2009). On the other hand, sodium adsorption ratio (SAR) for its effect on the physical properties of soil and sodium percentage (Na%) for its effects on the final soil water SAR value with loss or gain of Ca and Mg values (Al-Khashman, 2009).

On this basis El Gourzi waters fit within the limits of 0 to 2000 mg l^{-1} for salinity and 0 to 3.0 $mS.cm^{-1}$ for EC, and so permissible for irrigation with slight to moderate effect on crops (Table 2) (Ayers & Westcot, 1994; FAO, 2003). On the other hand, when rating the irrigation water in relation to both salinity and sodium hazard (SAR), the US salinity diagram demonstrates that these stations water fall in C_3S_1- C_3S_2 and C_4S_1- C_4S_2 categories in high and low flow periods respectively (Table 3) (USSL, 1954).

The irrigation water, falling within this category, reflects high salinity and low sodium water, hence does not present any sodicity problems, but has to be used carefully for the irrigation of tolerant crops (Wilcox, 1955).

The results showed that the sodium percentage (Na%) of the irrigation water at the stations (E_4, E_5, E_6 and E_7) ranged from 37.50% to 53.08% (Table2). Hence, according to Wilcox diagram results (Table 3), the irrigation water at all these stations ranges from *good* to *doubtful* categories during high flow and falls in *doubtful to unsuitable* category during low flow period (Wilcox, 1955). This means that when sodium concentration is high in the irrigation water, sodium tends to be absorbed by clay particles, displacing calcium and magnesium ions, reducing thus soil permeability and its drainage characteristics (Kirda, 1997; Sundaray et al, 2006).

When total carbonate levels exceed the total amount of calcium and magnesium, the water quality diminished. This excess is evaluated by the Residual Sodium Carbonate (RSC). A *RSC*< 1.25 meq.l^{-1} is safe for irrigation (USSL, 1954). In the present study, at the irrigation sites, the recorded *RSC* values ranged from -8.83 to -6.80 meq l^{-1} (Table 2). All the samples had negative *RSC* values, which indicated that El Gourzi water is of safe quality for irrigation purposes, as far as this parameter is concerned. According to Tiwari and Manzoor (Tiwari & Manzoor, 1998), negative *RSC* values are indicative of no complete precipitation of calcium and magnesium.

Table 2. EC, SAR, Na% and RSC variation of El Gourzi waters at the points of use for irrigation

Parameters	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
EC_h (at high flow period) (mS/cm)	2,25	2,51	2,23	2,07	1,94	1,95	1,87
EC_b (at low flow Period) (mS/cm)	2,32	2,64	2,75	2,56	2,44	2,12	2,20
SAR (méq.l^{-1})$^{0.5}$	6,53	3,34	3,53	3,42	5,72	6,96	6,40
Na% (%)	53,08	37,51	39,37	37,79	50,21	50,10	45,91
RSC (meq.l^{-1})	-7,33	-19,81	-6,82	-8,32	-8,15	-6,80	-8,84

Table 3. Results interpretation of USSL and Wilcox diagrams

Period	Station	EC class.	SAR Class.	USSL Class.	Wilcox Class.
High flow	E_{4h}	High	Low	C_3S_1	Doubtful To Unsuitable
	E_{5h}	High	Low	C_3S_1	Permissible To Doubtful
	E_{6h}	High	Low	C_3S_2	Permissible To Doubtful
	E_{7h}	High	Low	C_3S_2	Good To Permissible
Low flow	E_{4b}	Very High	Low	C_4S_1	Doubtful To Unsuitable
	E_{5b}	Very High	Medium	C_4S_2	Doubtful To Unsuitable
	E_{6b}	Very High	Medium	C_4S_2	Doubtful To Unsuitable
	E_{7b}	Very High	Medium	C_4S_2	Doubtful To Unsuitable

E_{4h}–E_{7h}= Water sampling Sites along the Oued El Gourzi course during periods of high flow

Chloride is an anion that undergoes little absorption and is highly mobile and soluble. It tends to accumulate in tissues, particularly leaves, of some plants to toxic levels. The chloride concentration of the El Gourzi water ranged from 199.8 mg.l^{-1} to 548.3 mg.l^{-1} during summer sampling. These results indicated that chloride concentrations in are higher than the allowed limit of 355.0 mg l^{-1}, but these waters are still suitable for irrigation of medium to high salt tolerant crops (Ayers & Westcot, 1994; FAO, 2003).

Waters, carried by Oued El Gourzi, are mostly of sewage and industrial effluents types. El Gourzi bacteriological analyses revealed the presence of fecal contaminants and the absence of the pathogenic organisms such as salmonella and vibrio cholera. In fact, the mean fecal coliform loads varied from 0.7 x 10^4 to 2.74 x 10^4 unit 100 ml^{-1} at E7 and E4, respectively. The bacteriological quality of the wastewater used for intensive irrigation of crops, such as lettuce and raw eaten vegetables, is 1000 FC/100ml (Ayers & Westcot, 1994; Blumenthal, 2000). This criterion can vary with respect to the type of use of the wastewater. According to Blumenthal *et al.*, (Blumenthal, 2000), it is recommended to adopt realistic guidelines, which are very strict for the elimination of the helminth eggs but flexible

for the authorized bacterial concentration. Based on the obtained bacteriological results, the sanitary quality of the El Gourzi effluents is far from being acceptable for unrestricted irrigation.

4. CONCLUSIONS

The study showed that the level of pollution generally decreases from upstream to downstream of Oued El Gourzi and is more pronounced in dry conditions. Results of the different analyses on the water measured parameters revealed that the major water pollution threats in the Fisdis region were predominately due to urban effluent discharges in the El Gourzi basin. Therefore to improve water quality, priority should be given to integrated collection and adequate treatment of effluents.

The level of suitability of the El Gourzi water for irrigation ranges, generally, from doubtful unsuitable. However, the quality of the water that is doubtful or unsuitable for irrigation may be improved based on: on one hand, the selection of appropriate water treatment processes and, on the other hand, the adoption of a better irrigation management based on: the selection of tolerant crops, the selection of the irrigation system, the scheduling of irrigation, soil drainage and leaching.

REFERENCES

-Al-Khashman OA. (2009) : Chemical evaluation of Ma’an sewage effluents and its use in irrigation purposes, Water Resour. Manage. 23:1041-1053.

-Ayers RS, Westcot DW. (1994) : Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and drainage paper. N° 29 Rev. 1 FAO, Rome.

-Blumenthal UJ, Mara DD, Peasey A, Ruiz-Palacios A, Stott R. (2000) : Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines". Bulletin of the World Health Organization, 78(9):1104-1116.

-Bouziani M. (2000) : L'eau: de la pénurie aux maladies. Editions Ibn-Khaldoun, Oran, Algérie.

-Du Preez CC, Strydom MG, Le Roux PAL, Pretorius JP, Van Rensburg LD, Bennie ATP. (2000) : Effect of water quality on irrigation farming along the lower Vaal River: the influence on soils and crops. WRC Report N° 740/00, Water Research Commission, Pretoria, SA.

-Cherak L. (1999) : Incidences des eaux usées résiduaires sur la microflores et le comportement de l’avoine. Magister thesis in Agronomy, University of Batna, Algeria.

-Cornaz S. (2004) : Evaluation du statut trophique d’un canal de drainage sous l’impact des pollutions d’origines diffuses et ponctuelles : cas du Grand Canal de la basse plaine du Rhône. Mémoire de licence. Lausanne University.

-FAO (2003) : L'irrigation avec les eaux usées traitées. Manuel d'utilisation. Bureau Régional pour le Proche Orient et l'Afrique du Nord. Caire Egypte.

-Ghafoor A, Qadir M, Sadiq M, Murtaza G, Brar MS. (2004) : Lead, copper, zinc and iron contaminations in soils and vegetables irrigated with city effluent on urban agricultural lands”, J. Indian Society of Soil Sci., 52:114-117.

-Kettab A. (2001) : Les ressources en eau en Algérie: Stratégies, enjeux et vision , Desalina-tion, 136:25-33.

-Kirda C. (1997) : Assessment of irrigation water quality, CIHEAM, Options Méditerranéen-nes, Bari, Italie, Série A, N° 31, pp. 367-377.

-Morrison G, Fatoki OS, Ekberg A. (2001) : Assessment of the impact of point source pollution from the the Keiskammahoek sewage treatment plant on the Keiskamma river: pH, electrical conductivity, oxygen demand (COD) and nutrients”, Water SA. 27:475-480.

-Murtaza G, Gafoor A, Qadir M, Rashid MK. (2003) : Accumulation and bioavailability of Cd, Co and Mn in soils and vegetables irrigated with city effluent”, J. Agric. Sci., 40:18-24.

-ONM. Ain Skhouna. (2006) : Climate Data Report, Region of Batna (NEast Algeria), National Office of Weather.

-Rodier J. (1996) : Analyse de l’eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. Edition dunod, Paris.

-Sundaray SK, Panda UC, Nayak BB, Bhatta D. (2006) : Multivariate techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of the Mahanadi River – estuarine system (India): a case study, Environmental Geochemistry and Health, 28:317-330.

-Tiwari TN, Manzoor M. (1998) : Pollution of Subarnarekha river near Jamshedpur and the suitability of its water for irrigation. Indian J. Of Environment Protection, 8(7):494-497.

-Todd D. (1980) : Groundwater. 2nd Edition, Wiley, New York.
-US. Salinity Laboratory (USSL). (1954) : Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, USDA. Handbook n° 60, Washington, DC.
-Venugopal T, Giridharan L, Jayaprakash M, Velmurugan PM. (2009) : A comprehensive geochemical evaluation of the water quality of River Adyar, India". Bull. Environ. Contam. Toxicol. 82:211-217.
-Wilcox V. (1955) : Classification and use of irrigation water. US. Department of Agriculture, Cire 696, Washington, DC.
-XLSTAT (2008): Data analysis and statistical solution for MS Excel", http://www.xlstat. com.
-Zouita N. (2002) : Etude de la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Madher (Nord-Est Algérien). Magister thesis in Hydraulics, University of Batna, Algeria.

Une molécule, un métabolite primaire de contraintes mésologiques: la proline

Benlaribi M., Merghem R., Zerafa C. et Chaib G.
Université Constantine 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Département de biologie et écologie végétales.
Email: benlaribi_mos@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

L’homme exploite la production primaire des végétaux pour son bien être. Il l’utilise dans la majorité des cas pour son approvisionnement énergique et alimentaire.
Actuellement, il s’intéresse davantage à la productivité dont l’explication relève d’une connaissance approfondie des végétaux et de leurs fonctions biologiques, notamment physiologiques.
Ainsi au cours de l’exploitation des agrosystèmes ou systèmes agers, l’homme oriente la production dans le sens qui l’intéresse ou qui suscite son intérêt. Le système ager le plus développé dans nos pays est le système céréalier qui est basé essentiellement sur trois espèces à savoir :
Hordeumvulgare L ., orge utilisée de nos jours surtout pour l’alimentation animale, soit en vert, soit en grain (2n=14).
Triticum aestivum L., blé hexaploide (2n=42) ou blé tendre panifiable.
Triticum durum Desf., blé tétraploide (2n=28) ou blé à semoule.
Dans se cas, le rendement de la production primaire est limité par de nombreux facteurs abiotiques dont les plus importants sont ceux qui gèrent et orientent la morphogenèse de la plante au cours de ses différentes phases successives qui sont schématisées dans la figure 1 et qui sont :

1) phase semis→levée
2) phase levée → début tallage
3) phase début tallage → début montaison

→ 1) période végétative

1) Phase formation des ébauches d’épillets (AB)
2) Phase spécialisation florale (stade BD Jonard)
3) Phase méiose fécondation (stade DF Jonard)

→ 2) période reproductive

1) Phase de multiplication cellulaire
2) Phase de remplissage du grain
3) Phase de dessiccation

→ 3) période maturation

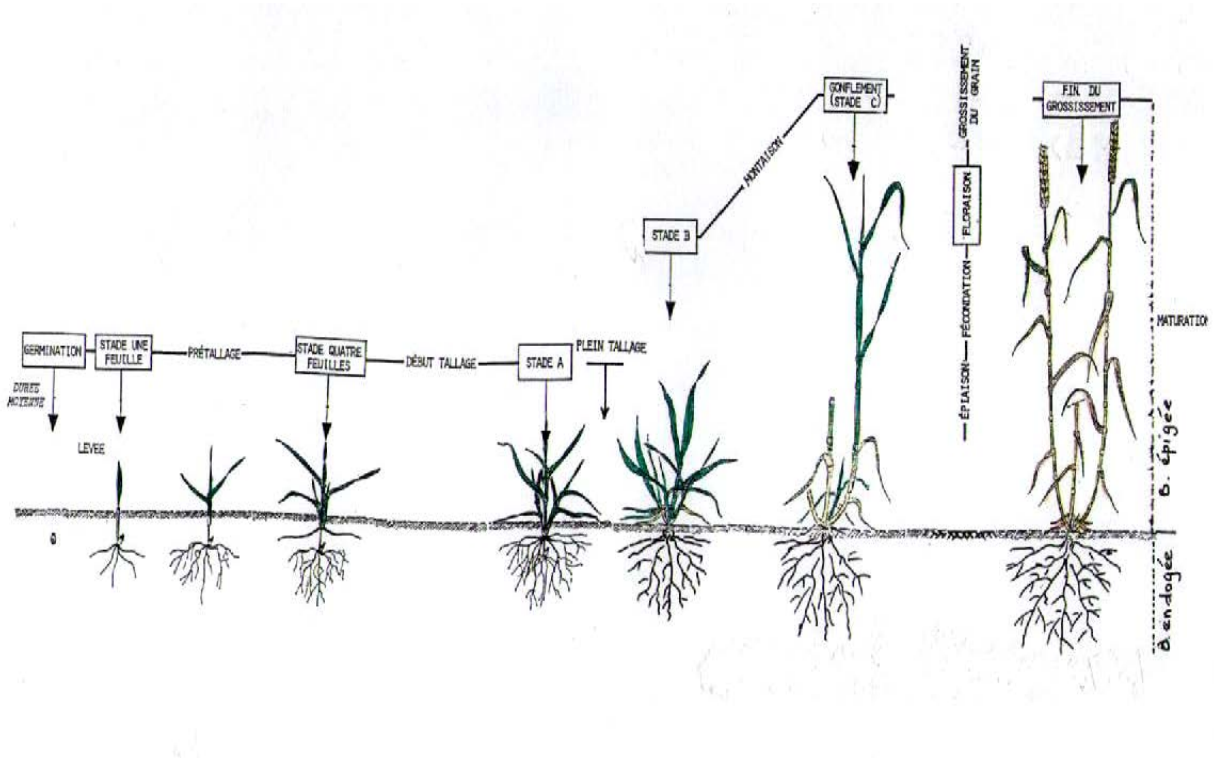


Figure 1. Les différentes phases du cycle biologique du blé

Il est des phases qui coïncident avec des périodes relativement sèches dans nos régions.
Oui, la sécheresse est largement reconnue comme le premier facteur limitant de la production agricole dans notre pays où la culture pluviale est très majoritairement pratiquée, elle constitue est une contrainte permanente de la production végétale et particulièrement celle des céréales.
En effet, les blés, en conditions pluviales et sur de grandes étendues au même titre que les autres grandes cultures sont exposées annuellement, soit à l’insuffisance des précipitations, soit à la mauvaise répartition de ces précipitations dans le temps : le long du cycle biologique de la plante.
Dans nos régions (zones céréalières des hauts plateaux) nous pouvons distinguer trois types de sécheresse :

Une sécheresse du début du cycle biologique.
Une sécheresse du milieu du cycle biologique } Sécheresses intermittentes
Une sécheresse de fin de cycle biologique } Sécheresse finale

Si, sous le 2ème type de sécheresse les plantes sont moins vulnerables car, les températures sont généralement basses, il n’en n’est pas de même pour le 1er et surtout le 3ème type de sécheresse.
Alors que le 1er type retarde le cycle et peut provoquer des dégâts au cours de la germination et l’installation de la végétation, le 3ème provoque le non remplissage du grain et entraîne de faibles rendements. Par rapport à ce phénomène de sécheresse, Levitt (1972) a réalisé une étude sur la résistance des plantes. En voici l’extrait :

Les adaptations à la sécheresse chez les végétaux:
Levitt (1972) a réalisé une étude bibliographique assez complète du problème de la résistance à la sécheresse chez les végétaux. Il en propose un schéma explicatif.

Les mécanismes de la résistance à la sécheresse (Levitt 1972)

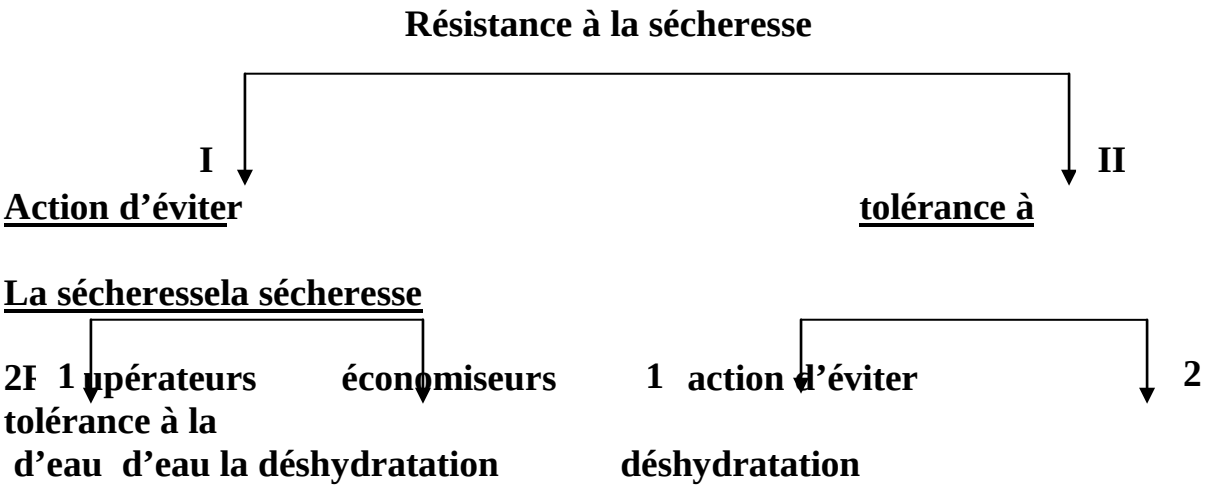


Figure 2. Mécanisme d’adaptation à la sécheresse

Accumulation de la proline et son devenir après retour des arrosages

De la, on peut dire que Les plantes exposées aux contraintes abiotiques dans leur milieu de culture sont capables de se défendre grâce, soit à des mécanismes constitutifs structuraux, soit à des mécanismes induits au moment de l'agression et qui s'estompent et disparaissent par la suite (cas de la proline).

Ce deuxième moyen de défense est moins exigent en dépense d'énergie que le premier qui est géré durant tout le cycle biologique de la plante.

En matière de caractéristiques biologiques, les mécanismes induits permettent donc un gain sur la production d'où l'intérêt de les sélectionner et les intégrer dans des programmes d'amélioration des plantes.

En effet, lors du déficit hydrique, les plantes développent des réactions métaboliques d'adaptation ou plutôt d'acclimatation matérialisées, entre autres, par l'augmentation de la concentration en proline libre dans leurs tissus. (Benlaribi et Monneveux, 1988)

Cette molécule accumulée dans le cytosol est reconnue comme un osmolyte impliqué dans l'osmorégulation cytoplasmique au moment où l'absorption d'ions minéraux (NO3-, K+...) et la synthèse d'acides organiques participent à l'ajustement osmotique vacuolaire.

Dans le cas du genre *Triticum,* la teneur en proline généralement faible dans les conditions hydriques non limitantes peut atteindre des valeurs très élevées sous contrainte hydrique.

En effet, étant de l'ordre de 2 µmoles. $Mg^{-1}M.S$ dans les tissus foliaires et dans les conditions d'alimentation hydrique nonlimitantes chez le blé, la teneur en proline libre peut atteindre des valeurs beaucoup plus élevées, de l'ordre de 50 à 100 µmoles. $Mg^{-1}M.S.$, soit prés de 25 à 50 fois la valeur initiale voire davantage, selon le degré de sévérité du déficit hydrique appliqué. (Benlaribi et Monneveux, 1988).

A l'opposé, le retour des arrosages entraîne une résorption (conversion ou/et dégradation) très rapide de ce composé aminé. (Zérafa, 2006)

Ainsi, cette molécule, ce métabolite primaire dont la synthèse et la régulation sont encore peu maîtrisées est induit sous les contraintes mésologiques de culture.

Dans notre étude, la teneur en proline a été évaluée par spectrophotométrie sur une série de génotypes de blé dur et tendre par la méthode de Troll et Lyndsey (1955) modifiée par Dreier et Goring en 1974.

Les résultats obtenus pour les différents niveaux d'humidité exprimés débouchent sur:

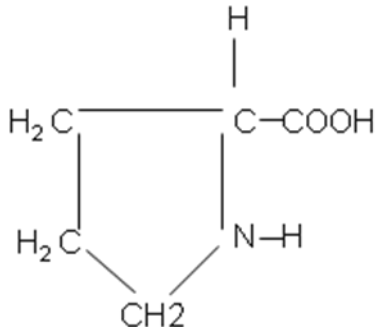
1- une augmentation de la teneur en proline accumulée en fonction du degré du déficit hydrique ;

2- une cinétique d'accumulation différente d'une variété à une autre à l'intérieur de l'espèce considérée. (Zérafa, 2006)

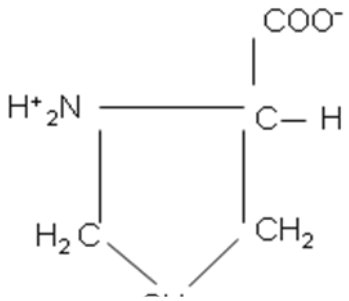
Cette variabilité soutenue par la diversité spécifique peut permettre d'exploiter bio technologiquement cette molécule comme une empreinte dans le choix de génotypes tolérants au déficit hydrique ou dans le suivi de l'irrigation des cultures afin de les placer dans les conditions optimales de production. (Benlaribi et Chaib,1995).

Biosynthèse de la proline

La proline molécule à noyau pyrrole a été représentée par Reusch en 1977 par la structure A, alors que Streyer(1997) l’a présentée par la structure B



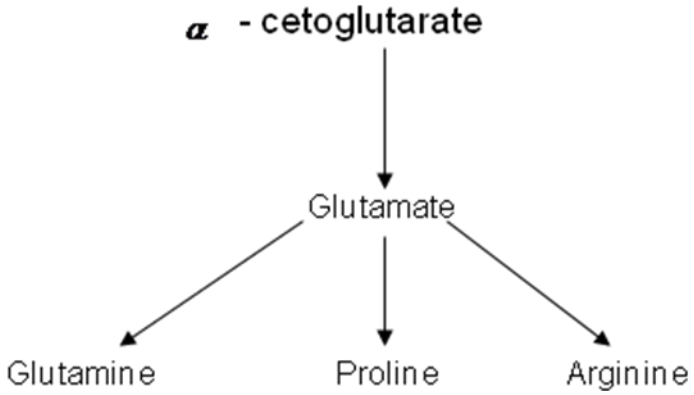
Structure A



Structure B

Dans tous les cas, la cellule végétale est capable de synthétiser de toutes pièces ces noyaux cycliques. Ainsi le noyau pyrrole de la proline est élaboré avec divers intermédiaires par cyclisation d’acide glutamique.

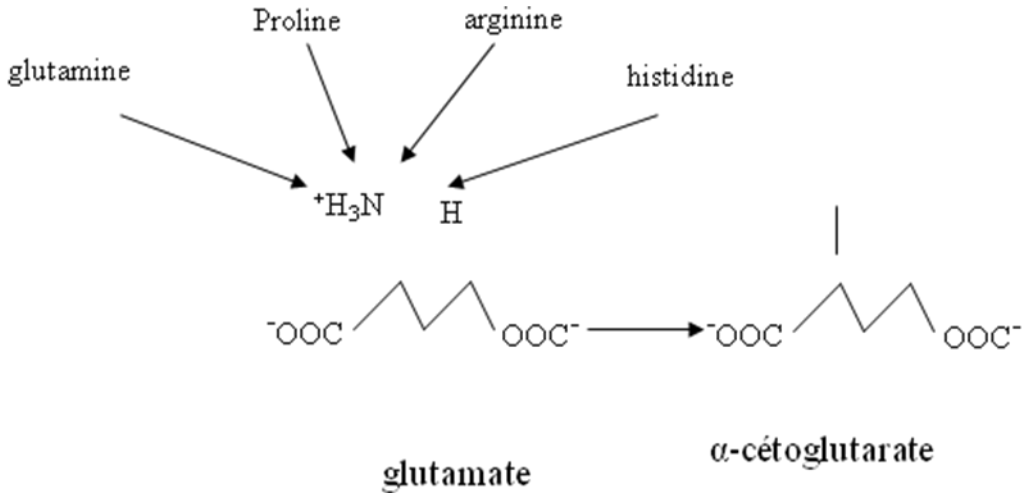
L’-cétoglutarate conduit au glutamate qui conduit à son tour à la glutamine, à la proline et l’arginine (Weinmam et Méhul, 2004)



Dégradation des acides aminés

La dégradation des aminoacidesconduit à des intermédiaires métaboliques majeurs. Ces derniers peuvent être complètement oxydés en CO_2 et H_2O par le cycle de l’acide citrique. Ils sont aussi susceptibles d’être convertis en corps cétoniques et en acides gras ou encore en glucose et les aminoacides qui leur ont donné naissance sont alors qualifiés de cétogènes (ou glycoformateurs) ou de glycogènes (ou glycoformateurs) respectivement.

La proline au même titre que l’arginine, la glutamine et l’histidine sont convertis en– α- cétoglutarate par l’intermédiaire du glutamate selon la figure suivante (Weinman et Méhul, 2004) :



2. MATERIELS ET METHODES

Matériel végétal

Le matériel végétal expérimenté est composé au départ de 17 génotypes de *Triticum aestivum L.* qui sont présents dans le tableau 1.

Tableau 1. Composition et origine du matériel végétal étudié

N°	Nom du génotype	Son origine
1	Florence x Aurore	(Tunisie, 1930) Algérie
2	Mahon Démias	(Iles Baléares) Algérie
3	H D 1220	Algérie
4	Ain Abid (AS 811 89 AB)	Espagne
5	Arz	CIMMYT
6	DGA// BJY// FA_2	CIMMYT
7	Anza	Mexique
8	G1	Oasis (sud algérien)
9	G2	// //
10	G3	// //
11	G5	// //
12	G8	// //
13	G10	// //
14	G11	// //
15	G13	// //
16	G14	// //
17	GX	// //

Conditions expérimentales

Les grains de ces génotypes sont semés dans des pots (30x20x24 cm) et cultivés sous serre (photopériode 15H, éclairement naturel, température 25°c jour, 12 à 15°c nuit et humidité relative voisine de 70%).

Les pots contiennent un sol argilo-limoneux provenant de la station d’essai. Il est caractérisé par une capacité au champ (cc) relativement élevée (38%).

Il est maintenu à une humidité constante équivalente au tiers environ de la teneur de la capacité au champ (C.C). Les premiers jours qui suivent la levée.

Après étalement de la 1ère feuille l’arrosage continue pour le lot témoin alors qu’il est suspendu pour le lot traité jusqu'à l’obtention des poids de pots qui correspondent respectivement à 75, 50, 25 et 12,5 et 8.33% de la CC (ces poids sont déterminés à l’avance).

Mesures

La proline est dosée sur le tiers médian des deux derniers feuilles développés (entre 3 et 5 feuilles) par la méthode de Troll et Lindsley (1955), modifiée par Dreier et Goring (1974) et utilisant le toluène à la place du benzène (toxique) conformément aux travaux de Hanson et al. (1977). Deux génotypes ont été éliminés par manque de répétitions.

3. RESULTATS

Les résultats exprimés et consignés dans le tableau 2 correspondent à la moyenne de quatre répétitions.

Tableau 2. Résultats globaux de l’étude.

	50 % c,c		**37,5 % c,c**		**25 % c,c**		**18,75 % c,c**			**12,5 % c,c**		**8,33 % c,c**
	moyennes	**écart type**	**moyennes**	**écart type**	**moyennes**	**écart type**	**moyennes**	**écart type**	**moyennes**	**écart type**	**moyennes**	**écart type**
1	0,525	0,056	4,961	0,269	11,776	0,141	12,125	2,793	14,987	2,273	50,642	0,498
2	0,505	0,077	3,546	0,403	14,245	1,112	14,108	0,584	18,213	0,727	46,97	4,656
3	0,344	0,111	1,179	0,142	8,401	0,821	7,228	0,641	18,558	1,046	48,567	2,532
4	0,244	0,144	0,947	0,254	8,809	0,752	10,359	0,735	14,098	0,38	52,836	2,966
5	0,625	0,194	1,704	0,232	13,658	0,177	15,782	1,833	29,222	5,644	50,692	0,865
6	0,275	0,045	1,162	0,144	6,73	0,237	6,468	0,209	9,27	0,417	55,81	1,784
7	0,359	0,06	0,805	0,186	6,277	0,478	6,553	0,929	11,639	0,788	52,878	2,591
8	0,668	0,315	3,964	1,163	6,105	0,823	7,038	0, 460	7,573	0,098	48,417	0,244
9	0,206	0,14	1,184	0,535	8,654	0,506	10,435	1,227	17,856	1,315	29,141	1,642
10	/ /		/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /
11	/ /		/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /
12	0,349	0,114	0,82	0,23	7,361	0,592	7,053	0,545	20,118	1,945	150,96	17,199
13	0,164	0,03	4,081	0,389	7,519	0,438	11,402	0,771	23,845	1,253	33,174	6,155
14	0,971	0,514	1,389	0,367	7,604	0,806	16,606	0,446	20,736	0,49	60,563	0,276
15	0,796	0,163	2,135	0,107	8,238	0,806	22,635	4,097	36,263	3,277	59,834	3,048
16	0,079	0,025	1,508	0,235	14,923	0,52	16,562	2,583	17,228	2,374	44,804	5,997
17	0,168	0,083	0,929	0,246	8,654	0,681	10,766	1,007	21,124	1,275	31,15	1,916

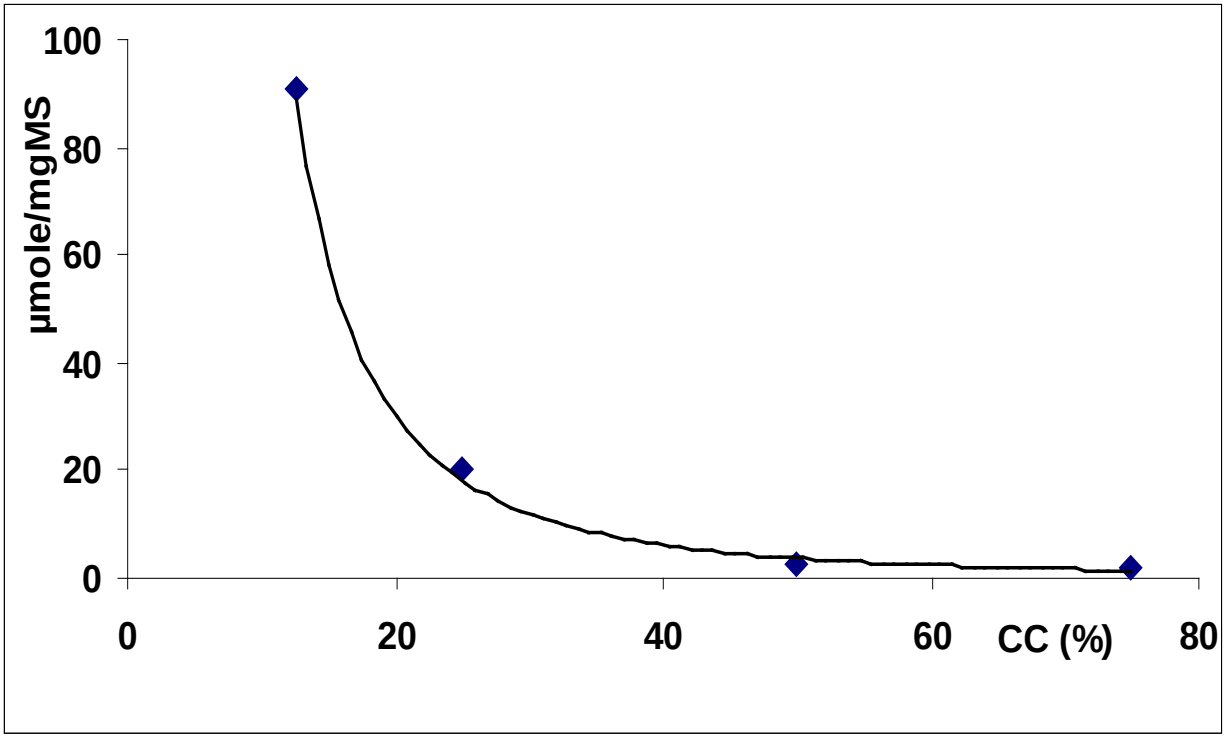


Figure 3. Accumulation de la proline en fonction du pourcentage de la C.C.

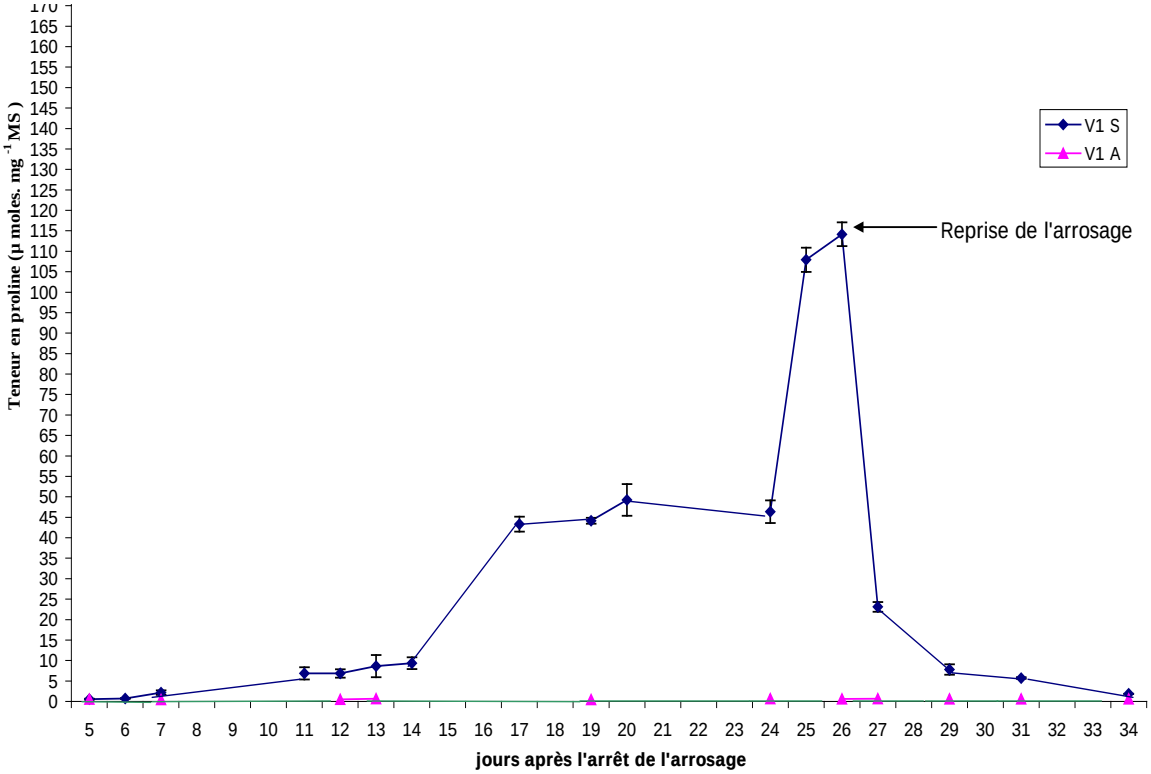


Figure 4. Cinétique d’accumulation chez le génotype G8

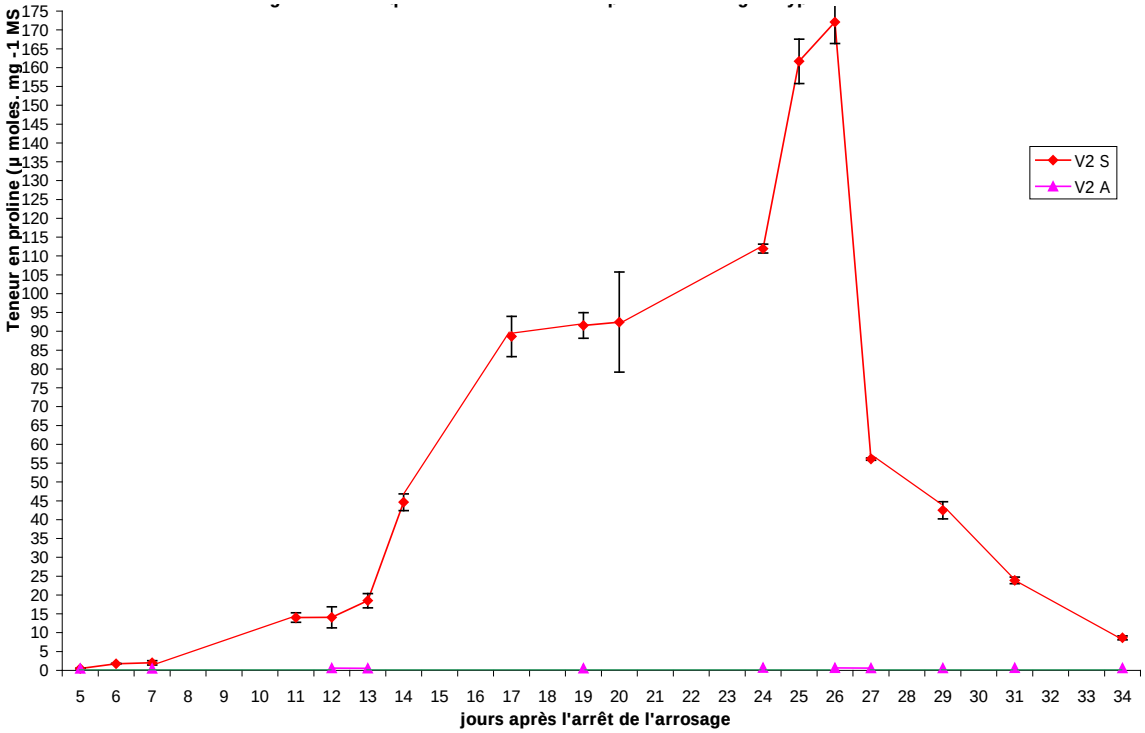


Figure 5. Cinétique d’accumulation de la proline chez le génotype Florance -aurore

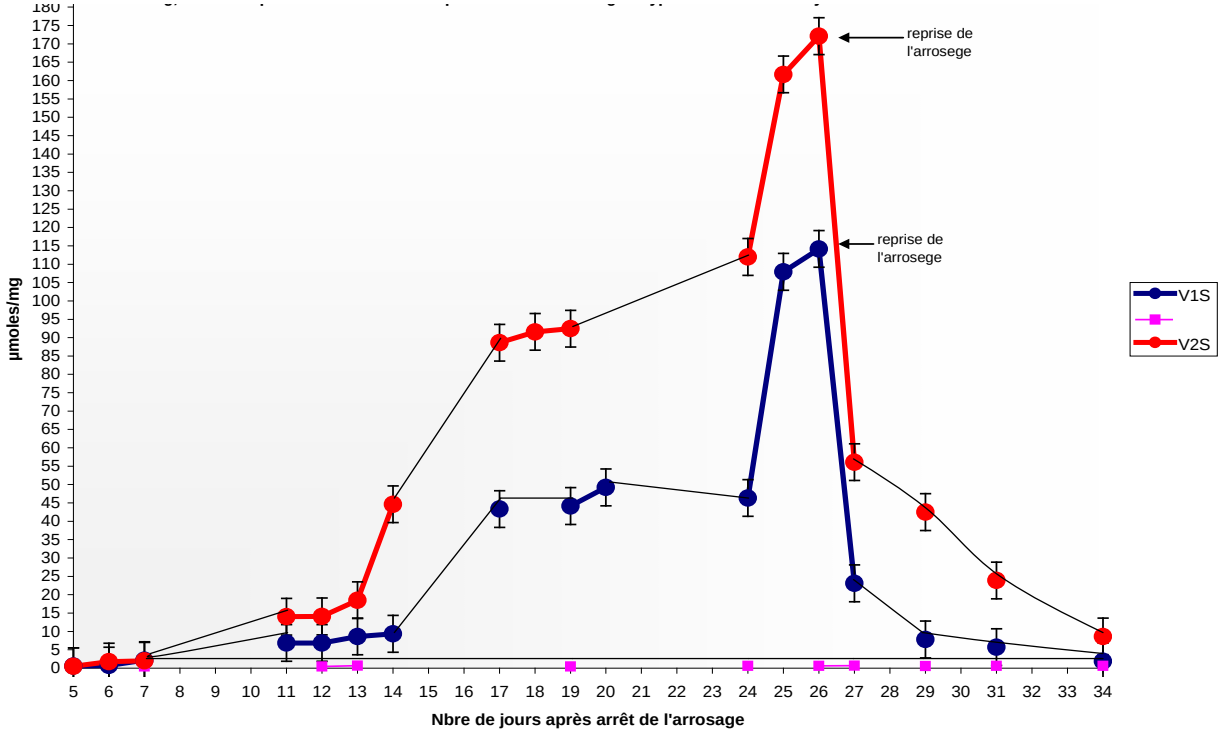


Figure 6. Cinétique d’accumulation de la proline chez les deux génotypes V1 et V2 et la moyenne des deux témoins

4-DISCUSSION-CONCLUSION

Les valeurs obtenues augmentent graduellement au cours de l’installation du déficit hydrique, c’est-à-dire en passant des teneurs en eau du sol les plus élevées (50%de la C.C.) vers les teneurs les plus basses (8.33%de la C.C.)

Il se dégage alors une relation négative (corrélation) entre accumulation de la proline et teneur en eau du sol (figure 3), d’une part et une diversité génétique entre les variétés étudiées qui peut être exploitée dans le criblage en amélioration des plantes.

La comparaison entre deux génotypes v1 (g8) et v2 (florence Aurore) par rapport à l’accumulation et la résorption de la molécule dégage la même cinétique d’accumulation avec des décalages le long de la période de stress globale.

Les résultats de cette comparaison mettent en exergue le caractère variable du mode de réponse (quantité accumulée) des deux génotypes face au déficit hydrique et même après le retour de l’arrosage.

C’est cette variation (diversité) qu’il convient d’exploitée dans le but de choisir ou de créer des idéotypes de plantes efficaces contre le déficit hydrique.

Enfin, le niveau de la teneur en proline peut également être mis à profit dans le déclanchement de l’irrigation des cultures.

Références bibliographiques

-BENLARIBI M. et MONNEVEUX P. (1988) : Etude comparée du comportement, en situation de déficit hydrique, de deux variétés algérienne de blé dur (Triticumdurum DESF.) adaptées au déficit hydrique. C.R. Acad. Agric.Fr., 74 , n°5, 73 – 83.

-BENLARIBI M. et CHAIB G. (1995) : Is proline accumulation a character of tolerance to drought?Congrès inter-drought, Montpellier du 31 Août au 2 Septembre 95. Proceedings, INRA, X- 5.

-DREIER W. et GORING M. (1974) : Der einfluss hoher Salzkonzèntrationen auf Verschiedene physiologische parameter Von Maiswurzeln. Wiss . Z. der H.U. Berlin, Nath. Naturwiss r., 23,641-644.

-LEVITT J. (1972) : Response of plants to environmental stresses. Academic press, New York and London.

-REUSCH W.H. (1977) : In introduction in organic chemistry.Ed.Holden-Day,INC.

-STREYER L. (1997) : La biochimie:Ed.Flamarion médicine-Science,1065p.

-TROLL W. et LINDSLEY J., (1955) : A photometric method for the détermination of proline. J. Biol.Chem., 215,655-660.

-WEINMAN S. et MEHUL P., (2004) : Toute la biochimie.Ed.Dunod,452p.

-ZERAFA C., (2006) : L’accumulation de la proline en tant que test précoce d’adaptation au déficit hydrique et indicateur moléculaire de diversité chez *Triticum aestivum L.*(blé tendre).Mémoire de Magister.Fac des sciences ,S.N.V,Université de Constantine,125p.

La pénurie d’eau dans les pays arabes et la nécessité de l’utilisation des eaux non conventionnelles

Zella Lakhdar[1], Smadhi Dalila[2]
[1]Université de Blida, Algérie, BP 30A Ouled Yaich, Blida, Algérie. Email : lakhdarz@yahoo.fr
[2]Institut National de la Recherche en Agronomie, Alger, Algérie. Email : dalsmadhi@yahoo.fr

RESUME
L’enjeu auquel est confronté le monde arabe est de produire plus de nourriture avec moins d’eau. La population arabe représente 4,3% de la population mondiale mais ne dispose que de 0,63% des ressources en eau renouvelables, ce qui crée les conditions de conflits potentiels graves. Les ressources en eau renouvelables sont évaluées à 278 km^3 ce qui correspond à un volume annuel de 583 m^3 par an et par individu. Mais ces ressources sont concentrées dans quelques pays, exposant une part importante de la population à un grave stress hydrique. Les volumes distribués à la population donnent un ratio de 421 m^3/an/individu, un volume qui doit être minoré du fait du mauvais rendement d’utilisation des réseaux de distribution. De plus, 70% de ce volume est utilisé aux fins d’irrigation, alors même que la production agricole demeure insuffisante. Cette situation a contraint plusieurs pays à se tourner vers les ressources non conventionnelles car la gestion de l’eau est devenue directement liée à la sécurité alimentaire. Beaucoup d’efforts devront être entrepris pour améliorer la productivité agricole tout en maitrisant les volumes d’eau affectés aux secteurs utilisateurs et en particulier à l’irrigation.
Mots clés: pays arabes, pénurie, stress, production agricole, irrigation, productivité, eau non-conventionnelle

SUMMARY
The great stake with which is confronted the Arab world is to be able to produce more food with a minimum water. The Arab population accounts for 4.3% of the world total but has only 0.63% of the renewable water resources, of which the half is extern origin, given potentials conflicts. The renewable water resources estimated at 278 cubic kmoffer an annual ration to each individual of 583 cubic m. These resources are concentrated in some countries, which expose the great majority of the population to the water stress. A share of 180 cubic kmis 65% of the renewable resources. These volumes distributed on the population gives a ratio of 421 cubic metersper year, a volume which arrives decreased to the user due to bad management. A share of 70% of this volume is used in irrigation without much effect on the agricultural production which remains weak and insufficient. This situation of stress has constrained several countries to choose the use of no conventional water. The management of water is thus directly related to food safety. Within the framework of the agricultural production, there are many possibilities of increase in the productivity of water thanks to a rigorous management using the projections of the agronomic research. The agricultural outputs of the irrigated grounds can be improved while gaining in hydraulic efficiency of use.
Keywords: Arab countries, water scarcity, stress, agriculture production, irrigation, productivity, non-conventional water

1. INTRODUCTION

Les pays arabes, désavantagés par leur position géographique mais aussi par leur gouvernance, sont confrontés au spectre de la pénurie d’eau et à toutes les conséquences désastreuses qui en découlent. L’analyse de la situation hydrique dans ces pays est l’objectif de ce travail, basée sur la détermination des ratios de l’utilisation des ressources naturelles en eau et en terres agricoles. Les résultats sont classés et confrontés entre les pays et par rapport aux normes internationales en vigueur. Des résultats qui clarifient davantage la problématique de l’eau et des commentaires qui laissent émerger les solutions à apporter.

Les 22 pays arabes représentent une bande d’une vingtaine de degrés, limitée entre le 12^e parallèle au sud du littoral de la péninsule arabique et le 36^e au nord de la frontière syro -turque. La longitude est de 16,5° à l’ouest de Nouakchott et de 60° à l’est d’Oman. Cette étendue (Figure 1) a une superficie de 14 millions km^2, limitée par l’océan Atlantique au flanc occidental et par la mer d’Oman au flanc

oriental. La mer Méditerranée constitue une limite au nord pour plusieurs pays tandis que le désert s’impose comme frontière australe. L’étendue arabe est aussi traversée par la mer Rouge qui la sépare en deux parties, l’une occidentale : le Maghreb et l’autre orientale : le Machrek.

Figure 1. Position géographique des pays arabes

Cette position géographique imprime un type de climat bien particulier à chaque entité territoriale où l’on constate l’influence de la mer méditerranéenne sur sa rive sud tandis que la mer Rouge rafraîchit ses rivages, celle d’Oman adoucit le climat au sud-est de la péninsule arabique. Cependant, l’intérieur des pays arabes se caractérise globalement par un climat aride à hyperaride.

2. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

D’un point de vue climatique, le monde arabe est situé dans un espace de transition entre deux zones :

- Une zone tropicale et subtropicale qui se distingue par une quasi-constance de la présence de hautes pressions très stables. Autour de 30° de latitude, une partie de l’air s’arrête (cellule de Hadley), descend vers le sol, s’y accumule et forme une zone de hautes pressions, provoquant un réchauffement à cause de la compression de l’air (Mutin, 2000). On l’appelle la région des calmes tropicaux. Ces anticyclones maintiennent une protection contre les perturbations pluvieuses sur les régions sahariennes. Le déficit de précipitations atmosphériques est dû essentiellement à l’existence de chapelet de cellules d’air continental sec correspondant à ces hautes pressions.

- Une zone méditerranéenne du domaine tempéré, caractérisée par une circulation d’ouest à est, de dépressions cycloniques.

Le front polaire limite les deux domaines (tropical et tempéré) et se déplace au cours de l’année. Il remonte en latitude en été et descend en hiver jusqu’au nord de l’Afrique, permettant le passage de dépressions cycloniques. Cependant une zone échappe à ce schéma général (Mutin, 2007): le sud de la péninsule arabique (Yémen) qui reçoit des pluies de mousson en été.

A l’exception du Liban et des Iles Comores, les espaces désertiques occupent 7 millions km^2 soit la moitié de la superficie totale des pays arabes (Mutin, 2007). Le relief se caractérise par une planitude à l’horizon, à l’exception de quelques rares sommets montagneux tels que l’Atlas marocain (Toubkal 4167 m), les sommets du Liban (3083 m), ceux du Yémen (3660 m) et ceux de l’Algérie (Djurdjura 2308 m et Tahat 3003 m). On y trouve également la plus grande dépression au monde où la mer morte s’enfonce à -400 m. La région est très pauvre en couverture végétale qui reste globalement inférieure à 1% du territoire (Mutin, 2000).

Le climat, commandé par la latitude, la continentalité et le relief, est qualifié de capricieux et d’agressif, induisant des écoulements sporadiques provoquant des crues violentes qui contrastent avec la monotonie des étiages. Les pluies arrivent en hiver, une saison froide et courte ; des lames pluviométriques équivalentes à la moyenne annuelle peuvent tomber en une heure ou en une journée, accentuant le phénomène de l’érosion des terres. Les barrages perdent annuellement une moyenne de 1% à 2% de leur capacité de stockage, remplacée par le dépôt de vase. Au Maroc, cette perte est estimée annuellement à 50 millions m^3, équivalent à la perte d’un potentiel d’irrigation de 5000 ha, des milliers de quintaux de produits alimentaires et autant de main d’œuvre agricole directe et indirecte (Mutin, 2007).

Ainsi, la pluviométrie moyenne est évaluée à 50 mm mensuellement et 156 mm annuellement (FAO, 1997). Les pays du Golfe arabique et l’Egypte ont une moyenne de 18 mm/an alors que celle du Liban

culmine singulièrement à 827 mm (Zeid, 2004). Ces disparités existent au sein d'un même pays et les isohyètes supérieurs à 500 mm couvrent des aires infiniment restreintes et majoritairement montagneuses, sachant qu'au dessous de 350 mm la production agricole exige le recours à l'irrigation.
Les étés sont secs et durent entre 3 et 10 mois selon les pays, durant lesquels la pluviométrie est totalement absente (Zeid, 2004). Plus de 85% de la région arabe est classée dans l'aride et l'hyperaride avec des pluies inférieures à 250 mm (Mutin, 2007).
Les températures saisonnières moyennes fluctuent entre 10°C en hiver et 25°C en été. La moyenne mensuelle durant les 30 dernières années, dans le désert, varie autour de 30°C pendant 7 mois de l'année (Mutin, 2007). Les records de températures sont enregistrés à Damas 44°C, à Bagdad 50°C et à Azizia 58°C. L'amplitude saisonnière de 15°C augmente à l'intérieur des terres continentales. Le sol surchauffé le jour (50°C), rayonne intensément la nuit, se refroidit portant la température à -8°C, l'écart se creuse à 42°C. L'insolation annuelle est un gisement important et avoisine 4000 heures ainsi que les radiations solaires qui sont maximales où seuls 10% sont réfléchis. L'évaporation varie de 570 mm/an près du littoral à plus de 2500 mm au sud. Le pouvoir évaporant de l'atmosphère est très supérieur à la pluviométrie, ce qui impose l'aridité à toute la région arabe. Le lac Nasser en Egypte, évapore annuellement un volume de 10 km^3 soit 1538 mm alors que sur le pourtour méditerranéen, la hauteur évaporée varie de 2 mm en hiver à 10 mm en été. Ces caractéristiques font que la sécheresse s'installe en tant que phénomène structurel, accentuée par le réchauffement climatique, elle constitue un handicap de taille pour la gouvernance de l'eau. Il a été constaté (CNRS, 2007) ces dernières années que les pluies ont diminué de 30% et que le taux de remplissage des barrages a chuté de 20%. Les rendements céréaliers fluctuent entre une moyenne de 10 q/ha en année humide et 5 q/ha en année sèche. Ce dernier cas entraîne le doublement des importations.
A l'exception de quelques impluviums d'aire insignifiante, l'ensemble des pays arabes ne peut compter sur les apports pluviométriques. L'irrigation est nécessaire pour la plupart de la production agricole. Certains pays tirent profit des fleuves qui les traversent, d'autres sont contraints d'exploiter les stocks d'eau fossile à des profondeurs très élevées.

3. POTENTIALITES EN EAU

Le monde arabe occupe 9,3% de la géosphère mais ne dispose que de 0,63% des ressources en eau renouvelables (RER) de la planète (Mutin, 2007 ; FAO, 2006). La population arabe est évaluée en 2005 à 324 millions d'habitants soit 4,3% du total mondial (Pison, 2005). L'Egypte est le pays le plus peuplé avec 74 millions d'habitants (23% du total), suivi du Soudan avec 40 millions (12%) et de l'Algérie avec 32,8 millions (10%). Les pays les moins peuplés sont Djibouti, Qatar, Bahreïn et les Iles Comores dont la population unitaire n'atteint même pas le million d'habitants. La densité de peuplement avoisine 14 habitants au km^2 et la plus élevée est celle de Bahreïn avec 1043 hab/km^2, suivie de celle de Palestine avec 633 hab/km^2 et du Liban avec 380 hab/km^2, cependant celles de Mauritanie et de Libye sont les plus faibles avec 3 hab/km^2. Les concentrations humaines accentuent les prélèvements et la pollution, en ce sens la densité est une donnée influente notamment quand les ressources en eau sont rares. Ces dernières sont surtout souterraines sauf pour les pays traversés par les grands fleuves.

3.1. Les eaux superficielles

L'écoulement superficiel permanent est quasi inexistant dans la plupart des pays arabes, à l'exception de quelques pays qui bénéficient de l'apport régulier de fleuves importants provenant de l'extérieur de leurs frontières : le Nil (1000 m^3/s) arrose le Soudan puis l'Egypte, le fleuve Sénégal (700 m^3/s) est un don pour la Mauritanie, Jubba et Shabele irriguent la Somalie et les légendaires fleuves le Tigre et l'Euphrate (13000 m^3/s et 5200 m^3/s) offrent des volumes importants à la Syrie et à l'Irak. La moyenne de l'écoulement superficiel est estimée à 146,5 km^3/an dont 70% localisés dans seulement quatre pays : Irak, Soudan Egypte et Maroc (Mutin, 2007). Ces eaux sont stockées dans de grands barrages comme le barrage d'Assouan en Egypte d'une capacité de 169 km^3 régularisant 157 km^3, les barrages Irakiens captent 30 km^3, les 34 barrages marocains retiennent 11 km^3 et ceux du Soudan emmagasinent 8 km^3. Certains pays bénéficient modestement de rares cours d'eau permanents (Majerda en Tunisie, Jourdain en Jordanie, Orente et Litani au Liban, Yarmouk en Syrie). Dans la majorité des pays, le réseau hydrographique ne fonctionne que durant la saison pluviale, le reste du

temps les lits sont secs ou ne reçoivent que les rejets des eaux usées. L’exploitation des cours d’eau est intense, ce qui limite sévèrement la recharge des nappes et fragilise la biodiversité du milieu naturel.

3.2. Les eaux souterraines

Les nappes phréatiques des pays arabes sont pratiquement surexploitées en totalité et les forages sont de plus en plus profonds, une situation qui a permis à la nappe marine de se substituer au vide laissé. Cet état de fait a contraint les pouvoirs publics à ne plus s’empêcher d’exploiter les réserves fossiles d’eau douce. Le sous-sol de certains pays arabes recèle de véritable mine d’or bleu, une eau emmagasinée depuis très longtemps et qui se renouvelle très faiblement. C’est le cas de l’aquifère albien qui concerne l’Algérie et ses voisins orientaux et qui piège 60 000 km^3 sur une superficie de 600 000 km^2, l’aquifère nubien d’une superficie de 2350 km^2 couvre 4 pays (Egypte, Libye, Soudan et Tchad) et stocke 50 000 km^3 dont 20 000 km^3 dans le sous sol égyptien et l’aquifère arabique renferme 143,8 km^3. La forte pression sur les RER, caractérisée par le très fort taux des prélèvements d’eau (supérieur à 40%) a contraint les pays à débourser des capitaux importants afin d’exploiter leurs gisements hydriques fossiles. Deux exemples méritent d’être cités, celui de la grande rivière artificielle en Libye réalisant des transferts du sud vers le nord d’un débit de 2 km^3/an sur de longues distances et l’exemple algérien du transfert Ain Salah-Tamanrasset, sur une distance de 750 km. C’est à partir de 40 forages, profonds de 270 m qu’un débit annuel de 36,5 millions m^3 est refoulé à l’aide de 6 stations de pompages (ADE, 2007).

Dans le souci d’assentiment et d’exploitation équitable des aquifères transfrontaliers, les pays riverains se concertent par le biais de convention sur la gestion de ces réserves d’eau fossile, l’une relative au SAS (système aquifère du Sahara septentrional), partagé entre l’Algérie, la Libye et la Tunisie et l’autre relative au NSAS (système aquifère nubien) co-propriété entre la Libye, l’Egypte, le Soudan et le Tchad. L’exploitation des eaux du Nil, celles du Tigre et de l’Euphrate est elle aussi basée sur des accords similaires. La raréfaction des ressources hydriques va elle renforcer ces accords ou va-t-elle générer des conflits ?

Les coûts d’investissement ne cessent d’augmenter à cause de la raréfaction, les barrages sont de plus en plus onéreux comparativement aux volumes d’eau stockés, les forages sont davantage plus profonds et les canalisations de transfert de plus en plus longues. Ce n’est pas tant l’insuffisance des ressources en eau que l’augmentation du coût de sa mobilisation qui constitue le principal obstacle à l’exploitation de ces eaux.

La population arabe utilise annuellement 180 km^3 d’eau douce dont 15% d’origine fossile (Mutin, 2007 ; FAO, 2006). Dans un souci de diversifier la production d’eau, de ne pas tarir les stocks fossiles et de préserver l’environnement, des efforts se sont orientés vers le dessalement et la revalorisation des eaux usées urbaines comme sources d’approvisionnement en eau.

3.3. Les ressources en eau renouvelables

Les quantités d’eau renouvelable de la région arabe sont estimées à 278 km^3 dont près de 55% sont d’origine exogène (Mutin, 2000), potentiellement source de conflits gravissimes. L’Egypte et la Mauritanie dépendent à 97% d’eau originaire de l’extérieur du pays, la Syrie à 70% et le Soudan et la Somalie à 60%. Parmi les pays les plus gâtés en RER, on trouve dans l’ordre le Soudan (74,5 km^3), l’Irak (61 km^3) et l’Egypte (58 km^3), l’Algérie vient en sixième position après le Maroc et la Syrie (Zeid, 2004).

La part des RER revenant à chaque habitant arabe est de 583 m^3, soit un manque de 90% par rapport à la moyenne mondiale (6900 m^3). La population arabe est d’ores et déjà en situation de stress hydrique même si elle utilise la totalité de ses ressources en eau renouvelables. Ces potentialités en eau sont concentrées à 91,8% dans huit pays (Egypte, Soudan, Irak, Syrie, Maroc, Algérie, Yémen et Arabie Saoudite), totalisant 83,4% de la population mais aussi il est constaté que 50% de la population (Egypte, Soudan, Irak et Syrie) détient 75% des RER dont les trois premiers pays bénéficient à eux seuls de 70%. Ces chiffres montrent la grande disparité en matière de RER entre les pays arabes où un habitant sur deux ne dispose que d’environ un quart des ressources hydriques et l’autre moitié bénéficie des trois quarts. La répartition des RER sur la population (Figure 2) montre qu’à l’exception de l’Irak et du Soudan dont la part par individu est respectivement 2118 m^3/hab et 1853 m^3/hab, dans tous les autres pays la population ne dispose individuellement que d’un volume inférieur à 2000 m^3. Parmi ces pays, 7 dont le Liban, le Maroc, Oman, l’Egypte, la Syrie, l’E.A.U et la Somalie constituent

un panel où vivent 44% du total de la population dont la dotation est comprise entre 1000 m^3/hab et 500 m^3/hab. La Tunisie et l'Algérie qui représentent 13% ont une dotation comprise entre 500 m^3/hab et 100 m^3/hab et le reste soit 43% de la population se contente d'une part individuelle inférieure à 100 m^3/hab. Le graphique de la figure 3 donne la classification des pays par rapport aux normes 2000 m^3/hab/an, 1000 m^3/hab/an, 500 m^3/hab/an et 100 m^3/hab/an.

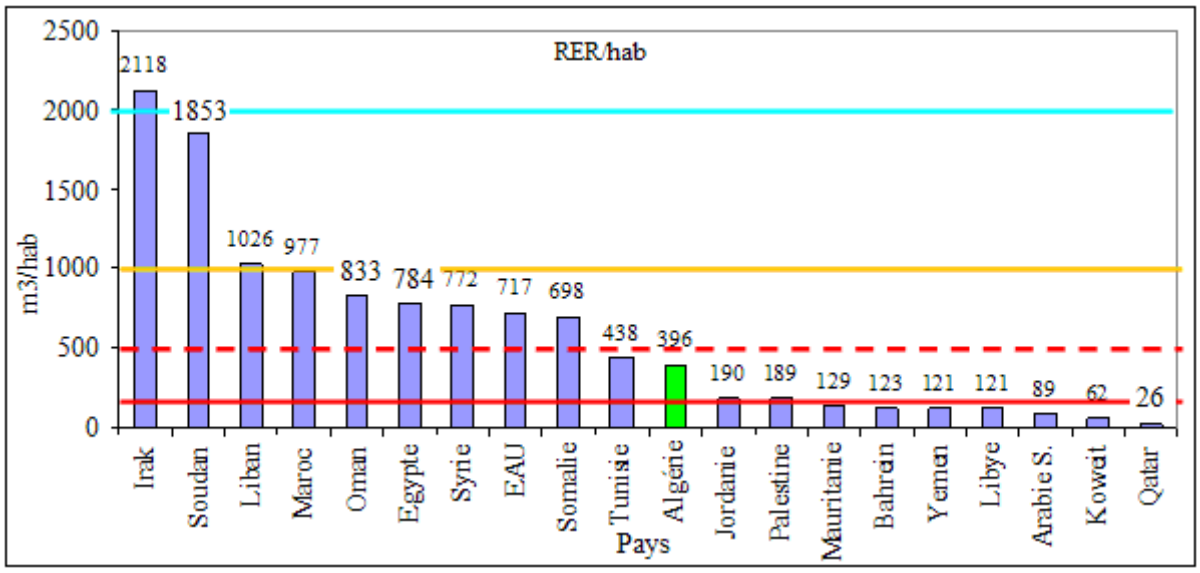


Figure 2. Répartition des RER par habitant

La figure 2 montre les degrés de gravité de la situation hydrique dont la majorité des pays sont en dessous de la norme 1000 m^3/hab. Il est évident que cette gravité s'accentuera davantage sous la pression démographique et le développement inhérent. Cette pression est déjà perceptible sur les prélèvements.

3.4. Les prélèvements

Les volumes prélevés sont évalués à 180 km^3 soit un taux qui s'élève à 65% des RER (Mutin, 2007 ; FAO, 2006), induisant une dotation moyenne annuelle par habitant de 421 m^3. Ces deux derniers chiffres, comparés aux normes (UNESCO et OMM, 1997) ci dessus, indiquent que le milieu naturel et la population sont dans un état de stress hydrique sévère. L'examen du graphique (Figure 3) montre que seuls deux pays (Egypte et Irak) qui représentent 32% de la population arabe totalisent 57% des prélèvements. Si on leur rajoute les prélèvements du Soudan, de l'Arabie Saoudite, du Maroc, de la Syrie et de l'Algérie, le taux atteint 91% pour 77% de la population. Les 23% restants doivent se contenter de 9% seulement. La situation du Qatar et celle de l'Arabie Saoudite sont exceptionnelles, ils exploitent respectivement l'équivalent de 950% et 741% de leurs RER, autant dire qu'ils ne comptent pas du tout sur les ressources renouvelables. Tous les autres pays utilisent plus de 40% des RER à l'exception du Soudan et du Liban. L'examen de la répartition des prélèvements (y compris les eaux non conventionnelles) sur la population montre que l'Irak vient en tête avec 1486 m^3/hab/an, suivi de l'Egypte (803 m^3/hab/an), de l'Arabie Saoudite (663 m^3/hab/an) et d'Oman (583 m^3/hab/an). Ces pays constituent 40% de la population arabe et bénéficient d'une dotation annuelle supérieure à 500 m^3/hab. On en déduit que 60% de la population ont une dotation théorique comprise entre 500 et 100 m^3/hab/an. A titre de comparaison, la France, l'Allemagne, l'Espagne et l'Italie exploitent environ 24% des RER, en revanche les pays nordiques (Norvège, Suède et Irlande) ne dépassent pas 2% (CNRS, 2007).

L'Egypte est le pays qui réserve le plus d'eau en volume à la consommation domestique, industrielle et agricole mais c'est le Koweït qui utilise la plus grande part (78%) des prélèvements au profit de la consommation domestique, les taux les plus faibles sont paradoxalement ceux du Soudan (1%) et de l'Irak (3%). Les pays qui réservent le plus d'eau à l'industrie sont le Qatar (25%) et l'Algérie (15%), il s'agit probablement de l'industrie pétrolière.

En ce qui concerne l’eau agricole, le Soudan utilise pratiquement toute sa ressource hydrique pour l’irrigation au détriment des autres secteurs qui bénéficient de volumes dérisoires. D’autres pays comme l’Egypte et l’Irak consacrent aussi des volumes importants à ce secteur, respectivement 50 km^3 et 40 km^3. La quasi-totalité des pays utilisent plus de 70% des prélèvements à l’agriculture. La dose par hectare dépasse 20000 m^3 au Bahreïn, environ 15000 m^3 à Oman et en Egypte et entre 5000 et 1000 pour le reste des pays. Les quantités prélevées sont réparties en moyenne dans le monde arabe à 75% pour l’irrigation, 6% pour l’industrie et 19% pour les usages domestiques. Ce taux moyen varie d’un pays à un autre mais la part de l’irrigation est partout la plus importante.

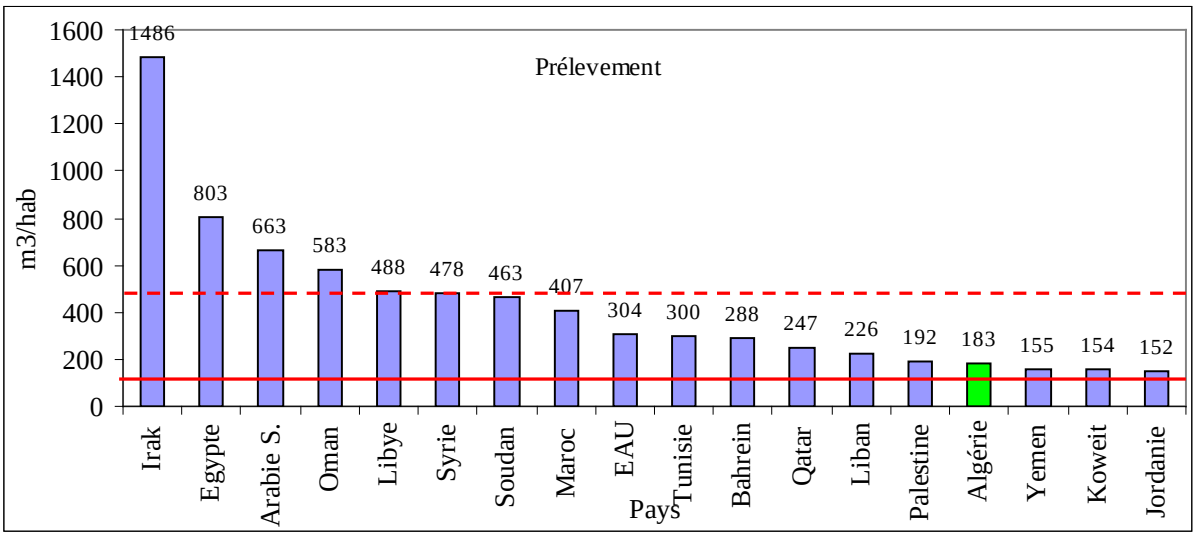


Figure 4. Répartition des prélèvements par habitant

Ces potentialités prélevées qui sont en dessous des normes universelles (OMM, 2007) confirment la situation de stress hydrique dans la plupart des pays. En plus, il faut souligner que ces volumes n’arrivent pas en totalité à l’utilisateur, elles sont soumises à des réductions liées à des contraintes majeures (envasement, pollution, réchauffement climatique, insuffisance technique et mauvaise gouvernance), elles sont donc régulièrement en diminution. La pression induite par la demande a contraint la plupart des pays à opter pour des solutions urgentes en consacrant une bonne part de leurs richesses au dessalement de l’eau de mer. Ses solutions envisagées dans la hâte peuvent provoquer l’effet boomerang. Le marché hydraulique algérien, potentiellement fort de ses 22 milliards de dollars attise les convoitises des *lobbies de l’eau*.

4. Le recours aux eaux non conventionnelles

Afin d’échapper au stress hydrique et ses conséquences désastreuses, ces pays sont amenés à fournir une eau de plus en plus chère et répondre aux besoins croissants en eau. Ainsi, les usines de dessalement d’eau de mer, d’eau saumâtre et d’épurations des eaux usées sont en nette progression. Pour certains pays, leur survie en dépend entièrement, pour d’autres elles constituent un complément nécessaire.

4.1. Dessalement de l’eau de mer

Le recours au dessalement de l’eau de mer a constitué une bouée de sauvetage pour certains pays où la pénurie s’est installée il y a longtemps. Cette solution alternative relativement rapide à mettre en œuvre a permit d’atténuer les situations de stress occasionnel ou durable des pays ayant atteint le ‘‘fond du puits’’ en matière de prélèvements. Le tableau 1 donne une idée sur cet effort et présente une estimation des volumes d’eau dessalée et mis à contribution des eaux de prélèvement.

Tableau 1. Potentialités en eau de mer dessalée dans certains pays

Pays	Millions m^3/an	%	Prélèvement		Eau domestique	
			Km^3	%	Km^3	%
Algérie	690	27,3	6	11,5	1,32	52,3
Arabie Saoudite	795	31,5	16,3	4,8	1,52	52,3
E.A.U	342	13,6	1,4	24,4	0,48	71,2
Koweït	240	9,5	0,4	60	0,31	77,4
Libye	130	5,1	2,83	4,6	0,42	30,9
Qatar	83	3,3	0,19	43,6	0,08	100
Tunisie	81	3,2	3	2,7	0,39	20,8
Irak	73	2,8	42,8	1,7	1,28	5,7
Bahreïn	56	2,3	0,21	26,6	0,08	70
Oman	32	1,4	1,4	2,2	0,09	35
Yémen	9	0,3	3,2	0,009	0,17	5
Total	2531	100	74,5	3,4	5,97	42,2

Le présent tableau montre l’essor du dessalement dans les pays arabes dont les volumes dépassent 2,5 km^3 avec en tête de peloton l’Arabie Saoudite (31%) suivi de l’Algérie (27%). Les volumes d’eau dessalée renforcent les prélèvements au Qatar à hauteur de 43%, à 26% au Bahreïn, à 24% aux E.A.U et à 11% en Algérie où ils contribuent pour 52% à la consommation domestique. L’Algérie se donne l’ambition de porter ces volumes d’eau dessalés à 800 millions m^3/an à l’horizon 2010 et à 1 milliard m^3/an à l’horizon 2025. Cette contribution s’élève à 77% au Koweït, à 71% aux E.A.U et à 70% au Bahreïn. La consommation domestique au Qatar est totalement assurée par l’eau dessalée. On constate que se sont les pays pétroliers qui supportent la consommation énergétique de cette production d’eau potable dont le prix de revient minimum avoisine 0,5 dollar us le mètre cube. Les conséquences liées aux saumures rejetées dans le milieu marin sont pour le moment ignorées.

4.2. La réutilisation des eaux usées épurées

Le recours à l’utilisation des eaux usées épurées ou épandage des eaux usées épurées a débuté à la fin du 19^{e} siècle dans plusieurs pays comme l’Australie, la France, l’Allemagne, l’Inde, le Royaume Uni, les USA et le Mexique. L’utilisation ne s’est pas limitée à l’irrigation mais elle a concerné l’industrie, le nettoyage des rues, l’aquaculture et la recharge des nappes souterraines. Les avantages offerts par ces eaux ont connus une promotion dans le monde où des pays réutilisent des volumes importants allant jusqu’à 25% ou 40% voire 100% des rejets. Cependant il est remarqué que seuls 2% des eaux usées épurées dans le monde sont réutilisées directement en irrigation (CNRS, 2007). Le reste est rejeté dans la nature. Certains pays arabes ont depuis longtemps misé sur ces potentialités, il s’agit notamment de l’Egypte, de la Tunisie, de la Jordanie et de l’Arabie Saoudite. Le tableau 2 montre les potentialités en eaux usées épurées, utilisées par certains pays arabes.

Tableau 2. Part des eaux usées recyclées dans les prélèvements et l’eau agricole.

Pays	Millions m^3/an	%	Prélèvement		E. agricole	
			Km^3	%	Km^3	%
Algérie	600	37	6	0,1	3,84	15,6
Arabie Saoudite	217	13,3	16,3	1,3	14,59	1,5
E.A.U	62	3,8	1,4	4,4	0,89	7
Koweït	83	5,2	0,4	20	0,08	100
Libye	10	0,62	2,83	0,3	2,12	0,5
Tunisie	200	12,3	3	6,6	2,4	8,3
Bahreïn	107	6,6	0,21	50	0,11	97

Oman	10	0,62	1,4	0,7	1,3	0,8
Egypte	225	13,8	59,4	0,4	52,27	0,5
Jordanie	60	3,7	0,88	6,8	0,57	10
Maroc	50	3,1	12,5	0,4	11,38	0,5
Total	1624	100	74,5	2,17	89,55	1,8

L’examen de ce tableau montre les efforts que l’Algérie a accomplis ces dernières années dans le domaine de l’épuration des eaux usées dont les volumes épurés représentent 37% du total (1,6 km^3) des pays arabes. En tenant compte des prélèvements, les 600 millions de m^3 d’eau usée épurée par l’Algérie, qui ne sont pas entièrement réutilisés, ne valent que 0,1% des volumes prélevés et représenteraient 15,6% des besoins agricoles en eau. Ces volumes épurés, censés renforcer les volumes prélevés, n’apportent globalement que 2,17% et participent à 1,8% aux volumes destinés à l’agriculture. En revanche, l’agriculture au Koweït comme au Bahreïn utilise exclusivement les eaux usées épurées. L’Egypte valorise en plus jusqu’à 4 km^3 d’eau de drainage, mélangés avec de l’eau douce. Dans le domaine de la recharge des nappes qui peut s’effectuer par des dispositifs d’infiltration d’eau usée, assurant la double fonction d’épuration et d’alimentation des nappes sous jacentes, la Tunisie prévoit d’employer 50 millions m^3/an à cet usage à l’horizon 2030 (Mutin, 2007).

Il est constaté que les lourds investissements consacrés à l’épuration des eaux usées pourraient être revus à la baisse si le dimensionnement des installations est réalisé, sur la base des rejets uniquement domestiques. En effet, les eaux usées qui sont traitées proviennent d’un réseau unitaire qui draine les eaux usées domestiques, les eaux industrielles et surtout les eaux pluviales. Les rejets d’eaux industrielles devraient subir un traitement singulièrement approprié. Comme pour le dessalement, les boues résiduaires constituent une contrainte à gérer à l’aval de l’épuration.

5. La production agricole

L’alimentation humaine est tributaire de la production végétale et animale, sachant que cette dernière est elle-même dépendante de sa précédente. D’une manière globale, l’homme a amélioré au cours de son existence, la richesse calorifique de sa ration. Elle demeure en nette hausse mais la malnutrition menace près de un milliard d’êtres humains (FAO, 2004), essentiellement dans les pays en voie de développement. Les besoins en alimentations d’un adulte sont évalués en moyenne par la FAO à 2932 kcal par jour. Il est évident que les populations des pays développés en consomment des rations riches (3273 kcal) qui dépassent cette valeur moyenne contrairement à celles des pays en voie de développement qui se limitent à des rations pauvres (2535 kcal). En France, elle est de 3600 kcal alors qu’en Algérie elle vaut 3000 kcal (FAO, 2004). Cependant ces valeurs moyennes cachent une réalité amère relative à la sous alimentation humaine, dont la ration journalière ne dépasse pas 2000 kcal. En Afrique subsaharienne, ce fléau touche 43% de la population et provoque des victimes d’environ 9 millions d’individus chaque année (FAO, 2004 ; UNICEF, 2002) alors que les sous alimentés dans les pays arabes avoisinent 40 millions, en Algérie, le taux varie entre 6 et 10% selon les estimations soit 2 à 3 millions d’habitants. Des émeutes de faim ont éclaté cette année dans quelques pays d’Afrique et d’Asie.

A quoi est due cette fatalité de la malnutrition ? Les causes sont nombreuses et enchevêtrées néanmoins la politique mondiale du développement, le climat et la gouvernance sont les causes principales. Le fort soutien apporté à l’agriculture des pays développés a marginalisé l’agriculture des pays en voie de développement. Les pays en voie de développement se sont laissés piéger par l’importation de produits alimentaires au prix de revient moins cher que leur production locale. Ils sont devenus dépendants de l’extérieur, en abandonnant leurs cultures du terroir. Pendant que la production vivrière (céréales) diminue d’année en année et ne suit plus la croissance démographique, les importations à partir des pays développés qui comblent leurs déficits sont en nette augmentation. L’Algérie importe 75% de ses besoins alimentaires. La valeur des importations des biens alimentaires

est passée de 1 milliard de $ US en 1970 à environs 5 milliards de $ US en 2007. Le pays a importé 5 millions de tonnes en blé en 2006 et devrait doubler ces quantités en 2015.
L’examen des facteurs de production montre clairement l’abandon du secteur de l’agriculture. L’exemple du rapport entre la surface agricole utile et la population est significatif (Figures 3 et 4). Il est en chute dans tous les pays arabes. Seuls 7 pays : Libye, Soudan, Tunisie, Syrie, Maroc, Algérie, Irak, représentant 51,5% des habitants arabes, ont un ratio compris entre 0,35 et 0,2 ha/hab soit 1ha pour 5 habitants.

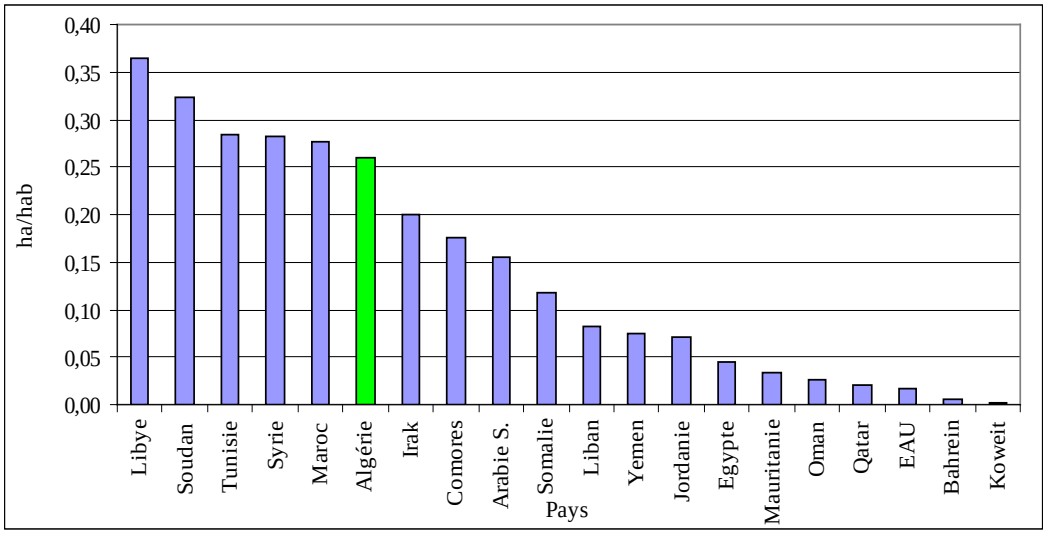


Figure 3. Ratio de la surface agricole utile dans les pays arabes

La même constatation est faite à propos du ratio relatif à la surface agricole irriguée dont 7 pays (Irak, Libye, Arabie Saoudite, Syrie, Comores, Soudan, Egypte) c'est-à-dire 59,5% de la population ont un ratio compris entre 0,04 et 0,12 ha/hab soit 1ha pour 25 habitants.

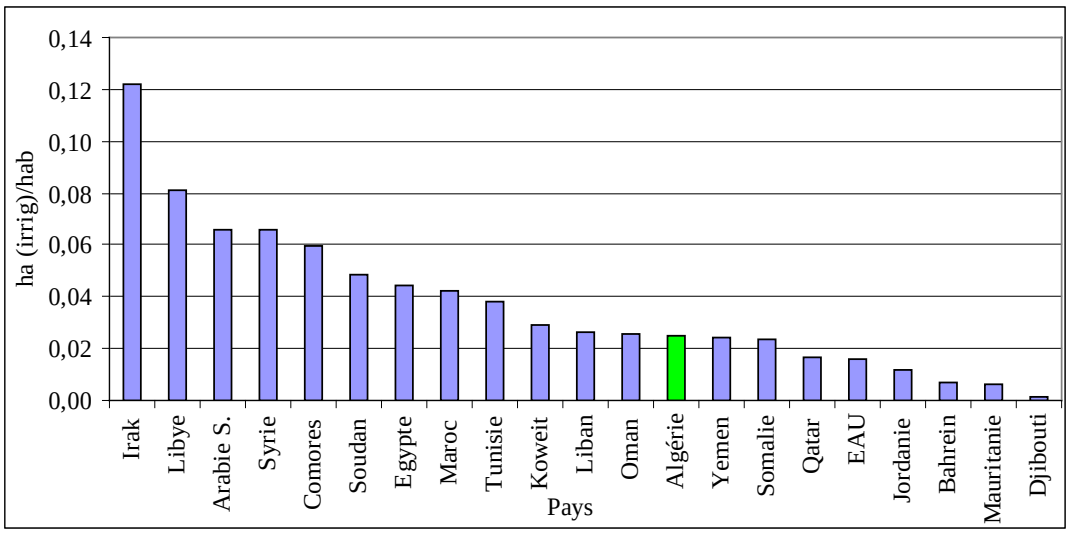


Figure 4. Ratio de la surface irriguée dans les pays arabes

Pour améliorer la production agricole, on peut soit augmenter les surfaces soit les rendements à l’hectare. Ce dernier dépend de plusieurs facteurs mais le plus important est celui de l’irrigation. La production mondiale est assurée à hauteur de 40% par 264 millions ha irrigués soit 17% des 1,5 milliards ha de superficie cultivée dans le monde. Le reliquat, c’est à dire les 60% sont produits par 80% de cette superficie en régime pluvial (FAO, 2004). Au Pakistan comme en Chine 80% de la nourriture provient des terres irriguées. Dans les pays qui vivent déjà le stress hydrique, il est recommandé d’opter pour une agriculture productive en améliorant les rendements que ce soit en

régime pluvial ou en régime irrigué. Sachant que pour produire 1 kg de nourriture, il faut en moyenne 2 à 4 tonnes d’eau, les besoins en eau d’irrigation vont s’accroître.
En Algérie la consommation moyenne annuelle en blé est estimée à 250 kg par personne. Si on considère qu’en régime pluvial, le rendement est de 10 q/ha, on en déduit que chaque hectare ne peut alimenter que 4 personnes. Donc, pour assurer les besoins de tout le pays, d’une population de 30 millions, il faut une superficie cultivée en céréales de 7,5 millions d’hectares. En revanche, si la même culture est menée en régime irrigué, le rendement moyen est de 50 q/ha, ceci assure la ration annuelle de 50 personnes et nécessite une superficie irriguée de 1,5 millions d’hectares. Cette production nécessitera un volume d’eau de 1,2 km^3 avec une dose moyenne de 8000 m^3/ha.
Si les surfaces irriguées ne représentent que 17% des surfaces cultivées dans le monde, elles assurent 50% de la valeur ajoutée par l’agriculture (FAO, 2004). La valeur agricole ajoutée par travailleur (Tableau 3), qui est un indicateur de productivité, donne un aperçu sur l’efficacité du travail de la terre.

Tableau 3. Valeur agricole ajoutée par travailleur

Région	Valeur ajoutée en %
Pays développés	2,5
Pays en développement	2,4
MENA	2,1
Algérie	1,1
Egypte	2,9
Syrie	4,1
Maroc	4,8
Tunisie	3,9
Yémen	1,8
Comores	0,6
Australie	3,1
France	6,1
Autriche	6,8
Monde	2,4

Source: (FAO, 2004)

Il est démontré, selon la FAO que pour combler les déficits nutritionnels induits par la croissance de la démographie et la faiblesse de la production, celle-ci doit augmenter de 60%. Les superficies irriguées doivent augmenter de 265 millions ha en 2008 à 331 millions ha en 2050, ce qui nécessitera 500 km^3 d’eau en plus. Mais en raison du manque d’eau la meilleure possibilité serait d’améliorer l’efficience des eaux d’irrigation. Actuellement elle est estimée à 38% à l’échelle mondiale, elle doit augmenter à 42%. Autrement dit, les pertes d’eau d’irrigation doivent diminuer de 8%.

4. CONCLUSION

Les pays arabes où vivent 324 millions d’habitants sont désavantagés par leur situation géographique et notamment la circulation atmosphérique générale. Cette position imprime à leur climat une aridité et une hyperaridité dominante, caractérisée par des niveaux de précipitation très faibles et des températures élevées. Les espaces désertiques occupent la moitié de la superficie totale. Le climat est qualifié de capricieux et d’agressif, conjugué à une sécheresse structurelle rendant la gouvernance de l’eau problématique. La population arabe qui représente 4,3% du total mondial ne dispose que de 0,63% des ressources en eau renouvelable du globe dont la moitié est d’origine exogène, source de conflits potentiels. Les ressources en eau renouvelables sont estimées à 278 km^3 se répartissant selon une quantité annuelle de 583 m^3 par habitant. Cette valeur comparée à la norme (500 m^3) montre la vulnérabilité de la région arabe vis-à-vis du stress hydrique et de ces conséquences sur le développement. Ces potentialités sont concentrées à 92% dans 8 pays totalisant 83,4% de la population globale et plusieurs pays sont déjà sous la menace de la pénurie d’eau. Les volumes prélevés sont évalués à 180 km^3 soit un taux de 65% des ressources renouvelables, induisant une

dotation moyenne annuelle de 421 m^3 par habitant. Un groupe de 32% de la population s'accapare de 57% des prélèvements et la plupart des pays, à l'exception du Soudan et du Liban, qui utilisent déjà plus de 40% de leurs ressources en eau renouvelables. Les volumes prélevés sont destinés à 75% vers l'agriculture, l'Egypte et l'Irak consacrent respectivement 50 km^3 et 40 km^3 à ce secteur. Le secteur domestique utilise 19% et le secteur industriel 6%. Il faut souligner que ces volumes n'arrivent pas entièrement aux utilisateurs pour cause de mauvaise gestion. La situation sur le terrain est plus dramatique.

Les rendements d'utilisation de l'eau sont très faibles et la situation du stress hydrique dérive plus rapidement vers la limite létale, tirée par la croissance démographique. Cette situation contraint les pays à investir dans le dessalement de l'eau de mer et la réutilisation des eaux usées épurées en espérant amoindrir la crise hydrique. Au total, les quantités d'eau dessalées avoisine 2,5 km^3 et participent en moyenne à 4,2% à la consommation domestique. Ce taux est relativement plus élevé pour les pays de la péninsule arabique. En revanche, les potentialités d'eau usée épurée s'élèvent à 1,6 km^3 dont uniquement 1,8% est réutilisé en agriculture.

En dépit de ces efforts dans le secteur de l'eau, la production est restée insuffisante par opposition aux besoins alimentaires de la population. La superficie agricole utile demeure insuffisante avec 1ha pour 5 habitants et 1 ha irrigué pour 25 habitants.

La plupart des pays arabes importent leur besoins alimentaire ce qui pose un problème de sécurité. Pour espérer échapper à cette dépendance, les politiques agricoles et hydrauliques doivent changer dans le cadre d'une politique générale cohérente, basée sur des principes scientifiques conduisant à produire plus de nourriture avec moins d'eau.

REFERENCES BILIOGRAPHIQUES

-ADE (Algérienne Des Eaux). (2007) : Etat des lieux et perspectives.
-CNRS. (2007) : La consommation française domestique, industrielle et agricole. http://www.cnrs.fr/cw/dossier/doseau/france/11_consommaton.htm
-FAO (1997) : Irrigation in Arabic countries. Water report n° 9.
-FAO (2004) : La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Rome
-FAO (2006) : Base de données Aquastat. http://www.fao.org/ag/aquastat.
-Mutin G. (2000) : L'eau dans le monde : enjeux et conflits. Ellipses, Paris.
-Mutin G. (2007) : Le monde arabe face au défi de l'eau. Institut d'étude politique de Lyon.
-OMM. (1997) : L'échange des données météorologiques. Rapport n° 837.
-Pison G. (2005) : Population et société. Bulletin mensuel de l'institut national d'étude démographique. N°414, juillet-aout.
-UNESCO et OMM. (1997) : Y a-t-il assez d'eau sur la Terre. Rapport n° 857.
-UNICEF. (2002) : L'eau dans le monde. Fiche thématique, l'eau potable et l'assainissement.
-Zeid A. (2004) : State of water in the arab region. CEDARE.

Variation des composés bioactifs et de la qualité nutritionnelle de deux cultivars de brocoli (*Brassica oleracea* L. var Italica) en réponse au stress salin

Chokri Zaghdoud[1,*], Carlos Alcaraz-López[2], César Mota-Cadenas[2], María del Carmen Martínez-Ballesta[2], Diego A. Moreno[3], Ali Ferchichi[1], et Micaela Carvajal[2]

[1]Laboratoire Aridoculture et Cultures Oasiennes, Institut des Régions Arides, Route de Djerba Km 22.5, Médenine 4119, Tunisia

[2]Département de nutrition des plantes, Centre des sols et biologie appliquée de Segura (CEBAS-CSIC), Campus Universitaire d’Espinardo, Ap. de Correos 164, 30100 Murcia, Spain

[3]Département de nutrition alimentaire et de technologie, Centre des sols et biologie appliquée de Segura (CEBAS-CSIC), Campus Universitaire d’Espinardo, Ap. de Correos 164, 30100 Murcia, Spain

Email : chokri_zaghdoud@yahoo.fr

RESUME

Dans ce travail, on a analysé par HPLC-DAD les composés bioactifs (glucosinolates, GSL ; acides phénoliques ; flavonoïdes) de deux cultivars de brocoli (cvs. Parthenon et Naxos) cultivés pendant 15 jours sur milieu nutritif de base contenant 14 mM NO_3^-, puis traités pendant 15 jours par différentes concentrations de salinité (0, 30, 60 et 90 mM NaCl). Les résultats montrent que, chez le cv. Parthenon, la teneur en GSLs totaux n’a pas été affectée par la salinité, alors qu’elle a subit une réduction progressive et significative chez Naxos (46.2% à 90 mM NaCl) comme une conséquence de la diminution de la teneur en glucosinolates indoliques (GB, NGB, HGB, MGB). Au contraire, la salinité provoque une accumulation plus importante des GSLs aliphatiques (GI, GR, GE) chez le cv. Naxos que chez Parthenon (4.14-fois et 3.34-fois, respectivement, à 90 mM NaCl), ce qui lui confère une valeur nutritive plus élevée liée à l’activité anti-cancérigène de ces protéines. D’autre part, l’étude de la variation des composés phénoliques montre que la teneur en dérivés d’acide sinapique a été significativement ($P \leq 0.001$) plus accumulée chez le cv. Parthenon par le stress salin que chez Naxos. Ces résultats montrent que la salinité peut être un facteur abiotique qui permet d’améliorer la valeur nutritive des plantes de brocoli. De plus, les différentes réponses de deux cultivars vis-à-vis à la salinité de milieu de culture, en termes de la composition en protéines bioactives, indiquent le rôle crucial du fond génétique sur les propriétés nutritionnelles que chaque cultivar acquiert.

Mots-clés : acides phénoliques, brocoli, flavonoïdes, glucosinolates, salinité.

SUMMARY

In this work, we have analysed by HPLC-DAD the bioactive compounds (glucosinolates, GSL; phenolics; flavonoids) of two broccoli cultivars (cvs. Parthenon and Naxos) growing for 15 days on control medium containing 14 mM NO_3^-, and then treated for 15 days with different salinity levels (0, 30, 60 and 90 mM NaCl). Results showed that total GSLs content in cv. Parthenon was not affected by salinity, while it was progressively and significantly decreased in cv. Naxos (46.2% at 90 mM NaCl) as a result of the decrease in indol GSLs content (GB, NGB, HGB, MGB). In contrast, salinity provoked higher accumulation of aliphatic GSLs (GI, GR, GE) in cv. Naxos than Parthenon (4.14-fold and 3.34-fold, respectively, at 90 mM NaCl) which confers on this cultivar a greater nutritional value when cultivated under salinity. In addition, sinapic acid derivatives were shown to be significantly ($P \leq 0.001$) more accumulated in cv. Parthenon by salinity than in cv. Naxos. These results suggested that salinity is an abiotic stress that could ameliorate the nutritional value of broccoli plants. Furthermore, the differential responses of the two cultivars to salinity, in term of bioactive compounds composition, indicated the crucial role of the genetic background on the organoleptic and nutritional properties that each cultivar acquires.

Keywords: broccoli, flavonoids, glucosinolates, phenolics, salinity.

1. INTRODUCTION

Les fruits et les légumes demeurent une source importante des nutriments dans plusieurs zones du monde, et offrent des avantages sur les compléments alimentaires en raison de faible coût et de grande disponibilité. Des études épidémiologiques ont montré que la consommation régulière de légumes de la famille des *Brassicaceae* est bénéfique pour la prévention des maladies chroniques, telles que les pathologies cancérigènes et cardiovasculaires (Jeffery et al 2003; Moreno et al 2006; Traka et Mithen, 2009). Dans cette famille, le brocoli (*Brassica oleracea* L. var. Italica) se distingue par le nombre

élevé des composés bioactifs promoteurs de la santé tels que les composés azotés-soufrés (glucosinolates et isothiocyanates), les composés phénoliques (flavonoïdes, dérivés de l'acide chlorogénique et sinapique), ainsi que d’autres éléments nutritifs (vitamine C, acides aminés, des minéraux et des chlorophylles) (Tian et al 2005; Moreno et al 2006; Borowski et al 2008). Cependant, ces composés bioactifs varient largement en réponse aux facteurs génétiques (Li et al. 2001), agronomiques (Fabek et al. 2012) et environnementaux tel que la salinisation des terres agricoles (Schonhof et al. 2007; López-Berenguer et al. 2009). Des estimations récentes indiquent que près de 7% de l’espace terrestre globale (Szabolcs, 1994) et 20-50% des terres agricoles irriguées dans le monde (Tanji, 2002; Hu et Schmidhalter, 2005) sont affectées par la salinité, l’un des principaux facteurs abiotiques limitant la croissance et la productivité des plantes cultivées traditionnelles (Yamaguchi et Blumwald, 2005).

Les glucosinolates (GSLs) sont des composés soufrés caractéristiques des *Brassicaceae*, ayant des effets favorables sur la santé humaine liés à l’assimilation des ions sulfates (Finley, 2005). En conditions de salinité, une augmentation de la teneur en GSLs a été observée (López-Berenguer et al. 2008), ce qui suggère qu’en cas de diminution du potentiel hydrique, ils pourraient être impliqués dans l'ajustement osmotique comme une composante d'adaptation de la tolérance au sel (López-Berenguer et al. 2009). Cependant, plus d'informations sont nécessaires concernant l'effet d’une contrainte externe sur l'accumulation des GSLs chez les plantes. Les composés phénoliques, à qui sont attribués des effets promoteurs à la santé dus à leurs propriétés antioxydantes (Finley, 2005), ont été trouvés en grande quantité chez le brocoli (*Brassica oleracea* var. Italica) (Moreno et al. 2006). Il a été montré que la salinité induit des perturbations dans les voies métaboliques secondaires, conduisant à une accumulation de composés phénoliques (Farnham et al. 2004).

Le brocoli est une plante modérément tolérante à la salinité (López-Berenguer et al. 2006), et le mécanisme de la tolérance a été étudié par notre équipe depuis de nombreuses années. Ainsi, le but de ce travail était de comparer les comportements de deux cultivars de brocoli (Parthenon et Naxos) par rapport à la leurs composition en composés bioactifs et la variation de leurs qualité nutritionnelle en réponse au stress salin. Les effets de deux facteurs (salinité, cultivar) sont analysés individuellement.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Conduite de culture et dispositif expérimental

Deux cultivars de brocoli (*Brassica oleracea* var. italica, cvs. Parthenon et Naxos) qui diffèrent dans leurs cycle de culture ont été utilisés pour les expérimentations. Parthenon a été largement étudié, alors que Naxos est introduit ici comme un nouveau cultivar hautement tolérant au stress abiotique. Les graines de deux cultivars ont été pré-hydratées dans l’eau distillée et aérées continuellement durant 12 h. Les graines sont ensuite placées dans des bacs avec de la vermiculite comme substrat, avant d’être incubées à l’obscurité à 28 °C. Après 2 jours, les plantules sont transférées dans une chambre de culture contrôlée jour/nuit: lumière 16 h/8 h, température 25 °C /20 °C, et humidité relative (RH) 60% /80%, avec un rayonnement photosynthétiquement active (PAR) de 400 µmol m^{-2} s^{-1} fourni par une combinaison de tubes fluorescents (TLD36W/83, Philips, Hambourg, Allemagne et F36W/GRO, Sylvania, Danvers, MA, USA) et les lampes aux halogénures métalliques (HQI, T 400W, Osram, München, Allemagne).

Après 3 jours, les plantules ont été placées dans des conteneurs de 15 litres (10 plantules par conteneur) remplis d’une solution nutritive de Hoagland, continuellement aérée : KNO_3 (3.0 mM), $Ca(NO_3)_2$ (2.0 mM), KH_2PO_4 (0.5 mM), $MgSO_4$ (0.5 mM), H_3BO_3 (25.0 µM), $MnSO_4$ (2.0 µM), $ZnSO_4$ (2.0 µM), $CuSO_4$ (0.5 µM), $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ (0.5 µM), and Fe-EDTA (20.0 µM). La solution a été complètement remplacée chaque semaine. Après 2 semaines de croissance, (lorsque les plantes atteignent l’âge 17 jours), les plantes ont été séparées (5 par conteneur avec la même solution nutritive de Hoagland) et traitées avec 0, 30, 60 ou 90 mM NaCl. Un dispositif expérimental Split-Plot, avec deux facteurs (traitement NaCl, cultivar) et cinq répétitions, a été utilisé pour analyser chaque variable physiologique. Afin d'éviter le choc osmotique, les traitements salins ont été appliqués à la solution nutritive par addition de 30 mM NaCl chaque heure jusqu'à atteindre les concentrations de NaCl finales. Après 15 jours de traitement salin, les plantes ont été récoltées pour analyse. Cinq répétitions de chaque traitement ont été utilisées pour les déterminations.

2.2. Détermination des teneurs en sulfates

Les concentrations des ions sulfates (SO_4^{2-}) ont été mesurés dans une chromatographe ionique Dionex-D-100 avec une colonne IonPac AS124- 4mm (10-32) et une colonne de garde AG 14 (4 x 50 mm). Le débit a été ajusté à 1 ml min-1, avec un éluant de 0.5mM Na_2CO_3 et 0.5mM $NaHCO_3$.

2.3. Détermination des teneurs en glucosinolates et en composés phénoliques

Les différents types des glucosinolates et des composés phénoliques ont été analysés selon la procédure décrite par Domínguez-Perles et al. (2010) étant exprimés en mg par g de matière fraiche et mg par 100 g de matière fraiche, respectivement.

2.4. Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été réalisées par le logiciel SPSS Release 18. Pour chaque cultivar, les différences significatives entre les traitements ont été déterminées par le test de Tukey à $P \leq 0.05$. Les différences significatives entre les cultivars ont été déterminées conformément aux instructions du test de Student t à $P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$ et $P \leq 0.001$.

3. RESULTATS

3.1. Teneur en glucosinolates indoliques

Les teneurs en GSLs indoliques dans les feuilles de deux cultivars de brocoli sont données par le tableau 1. La teneur en GSLs indoliques totaux est calculée par l’addition des teneurs en 4-OH-glucobrassicin (HGB), glucobrassicin (GB), 4-MeO-glucobrassicin (MGB) et neoglucobrassicin (NGB). Chez les plantes témoins, la teneur en GSLs indoliques totaux est significativement ($P < 0.001$) plus importante chez le cv. Naxos que chez Parthenon, due essentiellement à la teneur significativement ($P < 0.001$) élevée en NGB chez ce cultivar (Tableau 1). L’addition de doses croissantes de NaCl dans le milieu de culture n’affecte pas la teneur en GSLs indoliques totaux chez le cv. Parthenon, alors qu’elle la diminue significativement ($P < 0.05$) et progressivement chez le cv. Naxos (≈ 70% à 90 mM NaCl, relativement aux plantes témoins). Cette diminution est due principalement à la réduction significative des teneurs en GB et NGB chez le cv. Naxos (72% et 85% à 90 mM NaCl, respectivement, comparées aux plantes non-traitées), malgré l’augmentation significative des teneurs en MGB (55% à 90 mM NaCl) (Tableau 1).

3.2. Teneur en glucosinolates aliphatiques

Les teneurs en GSLs aliphatiques dans les feuilles de deux cultivars de brocoli sont données par le tableau 2. La teneur en GSLs aliphatiques totaux est calculée par l’addition des teneurs en glucoiberin (GI), glucoraphanin (GR) et glucoerucin (GE). Chez les deux cultivars, la salinité provoque une augmentation significative ($P < 0.05$) de la teneur en GSLs aliphatiques totaux. Aux traitements 60 et 90 mM NaCl, cette augmentation est significativement ($P < 0.001$) plus importante chez le cv. Naxos que chez Parthenon, liée principalement à l’augmentation de la teneur en GE chez ce cultivar (Tableau 2). A 90 mM NaCl, la teneur en GSLs aliphatiques totaux augmente de 4.18-fois et 3.34-fois chez Naxos et Parthenon, respectivement, comparés aux valeurs témoins (Tableau 2).

Tableau 1. Teneur en glucosinolates indoliques (mg g^{-1} MS) dans les feuilles de deux cultivars de brocoli cultivés pendant 15 jours en conditions de salinité

Variété	NaCl (mM)	HGB	GB	MGB	NGB	GSLs indoliques totaux
Naxos	0	0.09 ± 0.02 a	5.06 ± 0.27 a	0.67 ± 0.03 a	5.20 ± 0.35 a	11.02 ± 0.58 a
	30	0.05 ± 0.01 a	2.92 ± 0.19 b	0.24 ± 0.04 b	3.47 ± 0.62 b	6.67 ± 0.73 b
	60	0.04 ± 0.01 a	1.89 ± 0.09 c	1.37 ± 0.05 c	0.89 ± 0.14 c	4.19 ± 0.22 c
	90	0.04 ± 0.02 a	1.43 ± 0.14 c	1.04 ± 0.05 d	0.79 ± 0.11 c	3.30 ± 0.22 c
Parthenon	0	0.03 ± 0.00 a	4.63 ± 0.55 a	n.d	1.11 ± 0.12 a	5.77 ± 0.65 a
	30	0.03 ± 0.00 a	6.18 ± 0.97 a	n.d	1.12 ± 0.11 a	7.33 ± 1.00 a
	60	0.04 ± 0.00 a	4.41 ± 0.41 a	n.d	1.19 ± 0.14 a	5.64 ± 0.52 a
	90	0.05 ± 0.01 a	3.70 ± 0.75 a	n.d	0.95 ± 0.25 a	4.70 ± 0.98 a
Signifiances entre	0	*	n.s	***	***	***
	30	*	*	**	*	n.s

les deux cultivars	60	n.s	**	***	n.s	*
	90	n.s	n.s	***	n.s	n.s

Pour chaque cultivar, les moyennes avec des lettres différentes sont significativement différentes ($P < 0.05$, Tukey test). La signifiance entre les deux cultivars est déterminée relativement au Student's *t*-test, avec *$P < 0.05$, **$P < 0.01$, ***$P < 0.001$; n.s: non-signifiant. n.d : non détectée ; HGB : 4-OH-Glucobrassicin ; GB : Glucobrassicin ; MGB : 4-MeO-Glucobrassicin ; NGB : Neoglucobrassicin.

Tableau 2. Teneur en glucosinolates aliphatiques (mg g^{-1} MS) dans les feuilles de deux cultivars de brocoli cultivés pendant 15 jours en conditions de salinité

Variété	NaCl (mM)	GI	GR	GE	GSLs aliphatiques totaux
Naxos	0	0.12± 0.02 ab	0.32 ± 0.06 a	0.29 ± 0.05 a	0.72 ± 0.07 a
	30	0.10 ± 0.01 a	0.18 ± 0.10 a	0.98 ± 0.22 a	1.26 ± 0.29 a
	60	0.18 ± 0.02 ab	n.d	2.33 ± 0.12 b	2.52 ± 0.11 b
	90	0.23 ± 0.05 b	n.d	2.79 ± 0.27 b	3.02 ± 0.27 b
Parthenon	0	0.10 ± 0.01 a	0.06 ± 0.02 a	0.07 ± 0.02 a	0.24 ± 0.01 a
	30	0.21 ± 0.01 b	0.15 ± 0.00 b	0.10 ± 0.01 a	0.44 ± 0.02 ab
	60	0.20 ± 0.02 b	0.20 ± 0.01 c	0.30 ± 0.03 a	0.70 ± 0.05 bc
	90	0.26 ± 0.03 b	0.21 ± 0.01 c	0.32 ± 0.12 a	0.80 ± 0.12 c
Signifiances entre les deux cultivars	0	n.s	**	*	**
	30	***	n.s	**	n.s
	60	n.s	***	***	***
	90	n.s	***	***	***

Pour chaque cultivar, les moyennes avec des lettres différentes sont significativement différentes ($P < 0.05$, Tukey test). La signifiance entre les deux cultivars est déterminée relativement au Student's *t*-test, avec *$P < 0.05$, **$P < 0.01$, ***$P < 0.001$; n.s: non-signifiant. n.d : non détectée ; GI : Glucoiberin ; GR : Glucoraphanin ; GE : Glucoerucin.

3.3. Teneur en glucosinolates totaux

La teneur en GSLs totaux est calculée par l’addition des teneurs en GLSs indoliques et aliphatiques. Chez les plantes non-traitées, la teneur en GSLs totaux est beaucoup plus importante ($P < 0.001$) chez le cv. Naxos que chez Parthenon (Tableau 3). L’addition de doses croissantes de NaCl dans le milieu de culture diminue significativement ($P < 0.05$) la teneur en GSLs totaux chez le cv. Naxos. Cette diminution atteint 46.2% à 90 mM NaCl, comparée aux plantes témoins, comme une conséquence de la réduction importante de la teneur en GSLs indoliques totaux (Tableau 3). Chez le cv. Parthenon, la teneur en GSLs totaux n’a pas été affectée par la salinité.

Tableau 3. Teneur en glucosinolates totaux (mg g^{-1} MS) et en sulfates (mmol kg^{-1} MS) dans les feuilles de deux cultivars de brocoli cultivés pendant 15 jours en conditions de salinité

Varieté	NaCl (mM)	Total GSLs	SO_4^{2-}
Naxos	0	11.35 ± 0.43 b	12.56 ± 0.74 a
	30	7.93 ± 0.47 a	11.66 ± 0.47 a
	60	6.71 ± 0.28 a	11.27 ± 0.08 ab
	90	6.32 ± 0.31 a	9.23 ± 0.80 b
Parthenon	0	6.01 ± 0.66 a	14.39 ± 0.29 b
	30	7.77 ± 1.00 a	16.18 ± 0.38 c
	60	6.34 ± 0.49 a	14.05 ± 0.06 b
	90	5.49 ± 0.87 a	10.43 ± 0.51 a
Signifiances entre les deux cultivars	0	***	n.s
	30	n.s	***
	60	n.s	***
	90	n.s	n.s

Pour chaque cultivar, les moyennes avec des lettres différentes sont significativement différentes ($P < 0.05$, Tukey test). La signifiance entre les deux cultivars est déterminée relativement au Student's *t*-test, avec $*P < 0.05$, $**P < 0.01$, $***P < 0.001$; n.s: non-signifiant.

3.4. Teneur en ions sulfates

Chez les plantes non-traitées, les teneurs endogènes en ions SO_4^{2-} sont identiques chez les deux cultivars de brocoli (Tableau 3). L'addition de 30 mM NaCl dans le milieu de culture provoque une augmentation significative des ions SO_4^{2-} dans les feuilles du cv. Parthenon (12,44% relativement aux plantes), mais pas le cv. Naxos. Aux faibles doses de NaCl (30 et 60 mM), les teneurs des ions SO_4^{2-} sont significativement ($P < 0.001$) plus importantes chez le cv. Parthenon que chez Naxos (Tableau 3). A forte dose de NaCl dans le milieu de culture (90 mM) les teneurs en ions SO_4^{2-} diminuent significativement et similairement chez les deux cultivars de brocoli (≈ 25% par rapport aux plantes témoins) (Tableau 3).

3.5. Teneur en composés phénoliques

Dans ce travail, nous proposons quelques antioxydants naturels comme étant équivalents à la teneur en composés phénoliques (flavonoïdes, dérives d'acide sinapique et chlorogénique). Dans les feuilles du cv. Naxos, aucune différence significative n'a été enregistrée, concernant chaque composé phénolique analysé, entre les plantes témoins et celles traitées par la salinité (Tableau 4). Cependant chez le cv. Parthenon, le niveau de dérives d'acide sinapique a été significativement ($P < 0.001$) et progressivement augmenté par la salinité, en comparaison avec le cv. Naxos, provoquant une augmentation significative ($P < 0.05$) de la teneur en composés phénoliques totaux à la dose 90 mM NaCl (Tableau 4).

4. DISCUSSION

Les GSLs représentent une catégorie des composés secondaires trouvée principalement chez les plantes crucifères comme le brocoli, le chou-fleur et le chou (Yan et Chen, 2007). Des études précédentes ont montrées que les facteurs environnementaux, tels que la lumière (Engelen-Eigles et al. 2006), la température (Velasco et al. 2007) et les métaux lourds (Tolrà et al. 2006), altèrent la teneur et la composition en GSLs. Nos résultats montrent que, à un niveau modéré de salinité, une tendance de la teneur en GSLs totaux à augmenter a été observée chez le cv. Parthenon, accompagnée d'une augmentation des teneurs en SO_4^{2-} dans les feuilles. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés récemment par Keling et Zhujun (2010) chez le chou de chine. En outre, des travaux antérieurs ont montré que, sous un stress salin, l'assimilation soufrée augmente la concentration en GSLs (López-Berenguer et al. 2008). La réduction significative de la teneur en GSLs totaux chez le cv. Naxos (30% à 30 mM NaCl, près de 40% à 60 et 90 mM NaCl) est principalement la conséquence de la diminution de la teneur en GSLs indoliques totaux. Les différences entre les deux cultivars vis-à-vis à leurs composition en SO_4^{2-} et GSLs sous stress salin prouve que la synthèse des GSLs en conditions de salinité dépend du génotype plutôt que du traitement.

Tableau 4. Teneur en composés phénoliques (mg 100 g^{-1} MF) dans les feuilles de deux cultivars de brocoli cultivés pendant 15 jours en conditions de salinité.

Variété	NaCl (mM)	Dérivés d'acide sinapique	Dérivés d'acide chlorogénique	Flavonoïdes	Composés phénoliques totaux
Naxos	0	16.00 ± 1.09 a	12.56 ± 0.81 a	107.36 ± 2.05 a	135.92 ± 2.79 a
	30	15.24 ± 0.61 a	10.72 ± 0.88 a	101.82 ± 1.52 a	127.78 ± 2.05 a
	60	14.95 ± 0.91 a	10.44 ± 0.86 a	104.95 ± 4.94 a	130.34 ± 4.91 a
	90	13.45 ± 0.51 a	10.31 ± 1.14 a	113.24 ± 9.47 a	137.01 ± 9.02 a
Parthenon	0	19.56 ± 0.45 a	12.80 ± 0.32 a	101.77 ± 2.61 a	134.13 ± 2.98 a
	30	20.63 ± 0.56 ab	12.04 ± 0.77 a	94.90 ± 1.65 a	127.58 ± 1.82 a
	60	22.66 ± 0.90 b	13.47 ± 0.73 a	104.55 ± 4.83 a	140.69 ± 5.84 a
	90	25.29 ± 0.55 c	14.03 ± 0.22 a	118.57 ± 1.38 a	157.89 ± 1.33 b
Signifiances entre	0	*	n.s	n.s	n.s

les deux cultivars	30	***	n.s	*	n.s
	60	***	*	n.s	n.s
	90	***	*	n.s	n.s

Pour chaque cultivar, les moyennes avec des lettres distinctes sont significativement différentes ($P < 0.05$, Tukey test). La signifiance entre les deux cultivars est déterminée relativement au Student's *t*-test, avec $*P < 0.05$, $**P < 0.01$, $***P < 0.001$; n.s: non-signifiant.

L’augmentation significative des teneurs en GSLs aliphatiques totaux chez les cvs Parthenon (294% à 60 mM, 334% à 90 mM NaCl) et Naxos (348% à 60 mM, 418% à 90 mM NaCl) est principalement due à l’accumulation importante de glucoerucin (GE). Une compensation de la réduction des GSLs indoliques par des niveaux accrus des GSLs aliphatiques peut se produire. En fait, l’absence des GSLs aliphatiques chez *Arabidopsis thaliana* double mutant *myb28myb29* conduit à une augmentation des GSLs indoliques (Beekwilder et al. 2008). Ainsi, sous un stress salin, les GSLs aliphatiques confèrent au cv. Naxos particulièrement une valeur nutritionnelle accrue. Plusieurs produits de l’hydrolyse des GSLs aliphatiques methylsulphinyl chez le brocoli, comme le glucoraphanin (GR) et le glucoiberin (GI), sont envisagés pour réduire les risques du cancer. Le sulforaphane (dérivé de glucoraphanin) est le plus puissant, étant un inducteur naturel des enzymes de la phase II qui détoxifient les cancérogènes (Fahey et al. 2001).

Farnham et al. (2004) et Scheuner et al. (2005) ont rapporté que la salinité augmente la teneur en composés phénoliques, bien que les résultats portent essentiellement sur les parties comestibles (fleurs, inflorescences). Au contraire, d’autres études décrivent comment les composés phénoliques peuvent diminuer comme une conséquence de l'exposition des plantes à un long terme stress salin (Wahid et Ghazanfar, 2006). Par conséquent, la façon dont les facteurs abiotiques peuvent influer la teneur en composés phytochimiques bioactifs des plantes n'est pas absolument claire. Ces divergences dans la réponse aux facteurs stressants indiquent l'importance du fond génétique dans la réponse de brocoli aux facteurs environnementaux, comme dans cet article, où les réponses métaboliques secondaires distinctes de deux cvs Naxos et le Parthénon sous stress salin ont été reflétées dans les niveaux de GSLs et de dérivés d’acide sinapique.

5. CONCLUSION

L’effet de la salinité sur les teneurs en composés bioactifs diffère entre les deux cvs Naxos et Parthenon, indiquant le rôle crucial du fond génétique sur les propriétés nutritionnelles que chaque cultivar acquiert. La salinité provoque une augmentation des teneurs en GSLs aliphatiques (cvs Naxos et Parthenon) et en composés phénoliques (cv. Parthenon), améliorant ainsi la valeur nutritive de deux cultivars de brocoli. Ainsi, les champs affectés par la salinité peuvent être utiles pour la culture de brocoli dans le but d’augmenter la production des composés phytochimiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Beekwilder J, van Leeuwen W, van Dam NM, Bertossi M, Grandi V, Mizzi L, Soloviev M, Szabados L, Molthoff JW, Schipper B, Verbocht H, de Vos RCH, Morandini P, Aarts MGM, Bovy A. (2008) : The impact of the absence of aliphatic glucosinolates on insect herbivory in Arabidopsis. *PLoS ONE*, **3**, Article ID e2068.

-Borowski J, Szajdek A, Borowska EJ, Ciska E, Zielinski H. (2008) : Content of select bioactive components and antioxidant properties of broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Eur. Food Res. Technol*., **226**, 459-465.

-Domínguez-Perles R, Martínez-Ballesta MC, Carvajal M, García-Viguera C, Moreno DA. (2010) : Broccoli-derived by-products--a promising source of bioactive ingredients. *J. Food Sci*., **75**, C383-392.

-Engelen-Eigles G, Holden G, Cohen JD, Gardner G. (2006) : The effect of temperature, photoperiod, and light quality on gluconasturtiin concentration in watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.). *J. Agric. Food Chem*., **54**, 328-334.

-Fabek S, Toth N, Radojčić Redovniković I, Herak Ćustić M, Benko B, Žutić I. (2012) : The effect of nitrogen fertilization on nitrate accumulation, and the content of minerals and glucosinolates in broccoli cultivars. *Food Technol. Biotechnol*., **50**, 183-191.

-Fahey JW, Zalcmann AT, Talalay P. (2001) : The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry*, **56**, 5-51.
-Farnham MW, Wilson PE, Stephenson KK, Fahey JW. (2004) : Genetic and environmental effects on glucosinolate content and chemoprotective potency of broccoli. *Plant Breed*., **123**, 60-65.
-Finley JW. (2005) Proposed criteria for assessing the efficacy of cancer reduction by plant foods enriched in carotenoids, glucosinolates, polyphenols and selenocompounds. *Ann. Bot*., **95**, 1075-1096.
-Hu YC, Schmidhalter U. (2005) : Drought and salinity: a comparison of their effectson mineral nutrition of plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci*., **168**, 541-549.
-Jeffery EH, Brown AF, Kurilich AC, Keck AS, Matusheski N, Klein BP, Juvik JA. (2003) : Variation in content of bioactive components in broccoli. *J. Food Composit. Anal*., **16**, 323-330.
-Keling H, Zhujun Z. (2010) : Effects of different concentrations of sodium chloride on plant growth and glucosinolate content and composition in pakchoi. *Afr. J. Biotechnol*., **9**, 4428-4433.
-Li G, Riaz A, Goyal S, Abel S, Quiros CF. (2001) : Inheritance of three major genes involved in the synthesis of aliphatic glucosinolates in *Brassica oleracea*. *J. Am. Soc. Hort. Sci*., **126**, 427-431.
-López-Berenguer C, García-Viguera C, Carvajal M. (2006) : Are root hydraulic conductivity responses to salinity controlled by aquaporins in broccoli plants? *Plant Soil*, **279**, 13-23.
-López-Berenguer C, Martínez-Ballesta MC, García-Viguera C, Carvajal M. (2008) : Leaf water balance mediated by aquaporins under salt stress and associated glucosinolate synthesis in broccoli. *Plant Sci*., **174**, 321-328.
-López-Berenguer C, Martínez-Ballesta MC, Moreno DA, Carvajal M, García-Viguera C. (2009) : Growing hardier crops for better health: salinity tolerance and the nutritional value of broccoli. *J. Agr. Food Chem*., **57**, 572-578.
-Moreno DA, Carvajal M, López-Berenguer C, García-Viguera C. (2006) : Chemical and biological characterisation of nutraceutical compounds of broccoli. *J. Pharm. Biomed. Anal*., **41**, 1508-1522.
-Scheuner ET, Krumbein A, Schonhof I, Schreiner M. (2005) : Increasing the alkyl glucosinolate level in Broccoli by leafstalk infusion of methionine. *J. Appl. Bot. Food Quality*, **79**, 175-178.
-Schonhof I, Kläring HP, Krumbein A, Schreiner M. (2007) : Interaction between atmospheric CO_2 and glucosinolates in broccoli. *J. Chem. Ecol*., **33**, 105-114.
-Szabolcs I. (1994) : Soils and salinization. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of Plantand Crop Stress. Marcel Dekker Inc., New York, USA, 3-11 pp.
-Tanji KK. (2002) Salinity in the soil environment. In: Läuchli, A., Lüttge, U. (Eds.), Salinity: Environment-plants-molecules. Kluwer Academic Publishers, Dor-drecht, The Netherlands, 21-51 pp.
-Tian Q, Rosselot RA, Schwartz, SJ. (2005) : Quantitative determination of intact glucosinolates in broccoli, broccoli sprouts, Brussels sprouts and cauliflower by high-performance liquid chromatography-.electrospray ionization-tandem mass spectrometry. *Anal. Biochem*., **343**, 93-99.
-Tolrà R, Pongrac P, Poschenrieder C, Vogel-Mikuš K, Regvar M, Barceló J. (2006) : Distinctive effects of cadmium on glucosinolate profiles in Cd hyperaccumulator *Thlaspi praecox* and non-hyperaccumulator *Thlaspi arvense*. *Plant Soil*, **288**, 333-341.
-Traka M, Mithen R. (2009) : Glucosinolates, isothiocyanates and human health. *Phytochem. Rev*., 8, 269-282.
-Velasco P, Cartea ME, González C, Vilar M, Ordás A. (2007) : Factors affecting the glucosinolate content of kale (*Brassica oleracea* acephala group). *J. Agric. Food Chem*., **55**, 955-962.
-Wahid A, Ghazanfar A. (2006) : Possible involvement of some secondary metabolites in salt tolerance of sugarcane. *J. Plant Physiol*., **163**, 723-730.
-Yamaguchi T, Blumwald E. (2005) : Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends Plant Sci*., **10**, 615-620.
-Yan X, Chen S. (2007) : Regulation of plant glucosinolate metabolism. *Planta*, **226**, 1343-1352.

Influence de la contrainte hydrique sur la croissance et la concentration en quelques solutés organiques des tissus foliaires de Henné (*Lawsonia inermis)*

Hanen Enneb, Belgacem Lachiheb, Leila Ben Yahia,t Ali Ferchichi
Laboratoire d’Aridoculture et culture oasienne,
Institut des Régions Arides de Médenine, ELFJE 4119, Tunisie
Email : hanenenneb@yahoo.fr

RESUME

Dans le présent travail on s’intéresse à l’étude de l’effet du déficit hydrique sur la croissance et l’accumulation des solutés organiques chez deux provenances du henné (Boussaïd et Bssissi) soumises a trois régimes hydriques (100%CC, 50%CC et 25%CC). Le henné est un arbuste épineux de la famille des Lythracées, dont les feuilles produisent des teintes utilisé en teinture textile et corporelle. Il aurait des vertus thérapeutiques, antifongiques et astringentes. Les résultats de cette étude ont montré que Le déficit hydrique réduit la croissance de la surface foliaire du henné, cette réduction est observable chez les deux provenances (Boussaïd et Bsissi). En effet, L’application de stress sévère 25%CC induit des réductions importantes de la surface foliaire, Ces réductions sont de l’ordre de 58,13% chez Boussaïd et de 65,79% chez Bsissi. Outre la réduction de la surface foliaire le déficit hydrique induit l’accumulation des solutés organiques (proline, sucre solubles) chez les deux provenances.Les résultats ont montré que sous stress sévère (25% FC) le gain en sucres solubles et en proline atteint 52, 52% et 44, 16%, respectivement, pour l'origine Boussaïd.

Mots clés : le stress hydrique, *Lawsonia inermis*, surface foliaire, proline, sucre soluble

SUMMARY

Henna is known since the high antiquity as a medicinal plant because of its astringent, antiseptic and healing virtues. This plant belongs to continental oases where water shortage constitutes the essential limiting factors of agricultural production. The aim of this work is to study the effect of water deficit on plant growth and the accumulation of organic solute (proline, soluble sugar) for two henna localities (Boussaïd and Bssissi) under three watering regimes (100, 50 and 25% of field capacity (FC)). Severe stress (25% FC) induces significant reductions in leaf area, the rate reduction close to 58.13% for Boussaïd and 65.79% for Bsissi; water deficit induce accumulation of organic solutes (proline, soluble sugar) for both localities. The results showed that under severe stress (25% FC) gain in soluble sugars and proline reached at 52, 52% and 44, 16%, respectively, for the origin Boussaïd.

Key words: Lawsonia inermis, leaf area, water stress, proline, sucre.

1. INTRODUCTION

En Tunisie, le henné est connu depuis plus que deux siècles. Il aurait été introduit par les voyageurs qui venaient du Tripoli. Sa culture a demeuré cantonnée dans les oasis littorales. Avant 1956, le henné ne couvrait que sur des petites parcelles de Chenini et de Menzel où les plantations sont irrégulières et gagneraient à être faites en lignes (chattaoui, 1975). Le henné très connue pour ses propriétés tinctoriales et astringentes, entre dans la composition des infusions destinées à combattre les ulcères, les diarrhées et la lithiase rénale. (Floc’H, 1983). Des rares recherches et études ont concerné le henné en Tunisie. C’est en vue de mieux connaître cette espèce et particulièrement, ces adaptations au déficit hydrique, dont souffrent les oasis, que s’inscrit ce travail qui se propose pour objectif d’étudier l’effet du déficit hydrique sur la croissance et la concentration en quelques solutés organiques des tissus foliaires chez deux provenances du henné (Bousaïd et Bssisi).

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cet essai est le henné (*Lawsonia inermis*) originaire de Gabés. Pour mener cet essai, deux provenances ont été utilisées: Bsissi et Boussaïd. Les semis ont été réalisés dans des pots de culture en plastique de 4 litres chacun. Les pots sont placés sous serre vitrée à une température fixe égale à 26 °C et à l’éclairement naturel (photopériode : 10 heures). Dans un premier temps, les plantules de deux provenances étudiées (48 pots dont 24 pour chaque provenance) sont arrosées tous les deux à trois jours. Vers l’âge de deux mois, ces plantules ont été soumises à 3

régimes hydriques (R_0 (100% CC), R_1 (50% CC), R_2 (25% CC)) avec 8 répétitions /régime/provenance.

2.2. Mesure de la surface foliaire

Les feuilles ont été scannées et la surface (en cm2) est obtenue par l’utilisation du logiciel (mesuruim).

2.3. Extraction et dosage des sucres solubles

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthylés et les polysaccharides) sont dosés par la méthode du (Dubois et al 1956). 100 mg de matière végétale sont macérés pendant 48 h dans 3 ml d’éthanol 80 % et à température ambiante d’assurer l’extraction des sucres solubles. Au moment du dosage et après évaporation de l’alcool, 20 ml d’eau distillée sont ajoutés à l’extrait. A 1 ml de la solution à analyser, on a ajouté 5 ml de phénol 5% et 5 ml d’acide sulfurique concentré. La concentration en sucres solubles est déterminée après une lecture de la densité optique mesurée à l’aide d’un spectrophotomètre (type Jenway) à une longueur d’onde de 490 nm. Les teneurs en sucres solubles sont exprimées en mg/g MF.

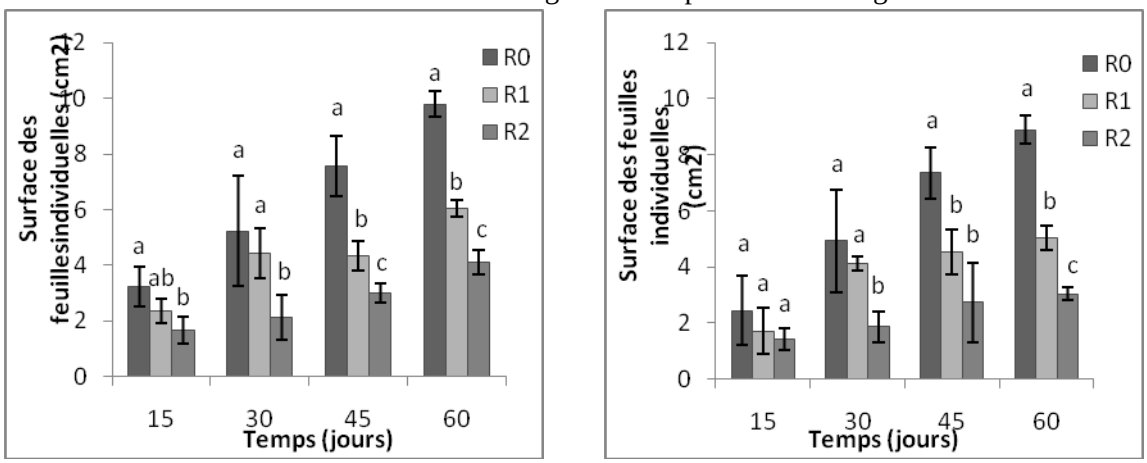
2.4. Extraction et dosage de la proline

La méthode utilisée est celle de Monneveux and Nemmar (1986), cent mg (pour chaque essai) prélevés sur les tiers médians des plus jeunes feuilles sont immédiatement pesés puis placés dans un tube à essai. Un volume de 5 ml de méthanol à 40 % est ajouté à l’échantillon et le tout est chauffé, pendant 1 h, dans un bain-marie à 85 °C. Après refroidissement, 1 ml de la solution d’extraction est ajouté à 1 ml d’acide acétique, 25 mg de ninhydrine et 1 ml du mélange eau distillée-acide acétique-acide orthophosphorique de densité 1,7. L’ensemble est porté à ébullition pendant 30 mn au bain-marie, puis refroidi et additionné de 5 ml de toluène. Après agitation au vortex, deux phases se séparent, la phase supérieure qui contient la proline est récupérée et sa densité optique est déterminée à 528 nm. Les valeurs obtenues sont rapportées sur un courbe étalon confirmée par des solutions allant de 0 à 0.2 mg/ml de L-proline. Les teneurs en proline sont exprimées en mg/g MF.

3. RESULTATS

3.1. Evolution de la surface foliaire de la plante en fonction des niveaux de déficit hydrique

La variation de la surface foliaire au stade végétative est portée dans la figure 1.



(a) Provenance Bsissi **(b) Provenance Boussaïd**

Figure 1. Variation de la surface foliaire en fonction du temps et des régimes hydriques chez les deux provenances Boussaïd et Bsissi) Chacune des valeurs sont les moyennes de 4 relevés s’étalant sur 8 semaines et les intervalles de sécurité sont au seuil de 5%.

.

Les résultats de la figure 1 montrent qu’en absence de stress hydrique, la surface foliaire est maximale chez les deux provenances. Les valeurs moyennes avoisinent les 9,79 cm^2 chez la provenance Bsissi et 8,88 cm^2 chez celle de Bousaïd.Le test Anova révèle un effet provenance significatif ($P < 0,01$) et montre également un effet traitement hautement significatif ($P < 0,0001$). L’interaction entre le régime hydrique et la provenance est non significative ($P = 0,824$). L’observation de la figure qui donne la

variation de la surface foliaire du henné sous l’effet du stress hydrique révèle que chez Boussaïd et Bsissi, la surface foliaire augmente avec le temps pour les différents traitements. Chez la provenance Bsissi et après deux mois de l’application d’un stress hydrique modéré R_1 (50% CC), la surface foliaire passe de 9,79 à 6,03 cm^2, soit une réduction de 38,36%. Pour Boussaïd, la surface foliaire est plus réduite que Bsissi et passe de 8,88 à 5,51 cm^2. La réduction étant de l’ordre de 37,98 %. Soumises à un stress hydrique sévère R_2 (25% CC), les deux provenances Bsissi et Boussaïd présentent respectivement des valeurs moyennes de la surface foliaire de l’ordre de 4,10 et 3,04 cm^2. L’application de ce stress induit des réductions importantes de la surface foliaire. Ces réductions sont de 58,13% chez Boussaïd et de 65,79% chez Bsissi. Chez les deux provenances étudiées, on note une réduction de la surface foliaire en fonction du stress hydrique. A 25% CC, Cet effet est plus important chez Bsissi qui peut être considérée comme la provenance la moins tolérante au stress hydrique.

3.2. Effet du stress hydrique sur la teneur en sucres solubles totaux

La variation de la teneur en sucres solubles totaux chez les deux provenances étudiées est portée dans la figure 2.

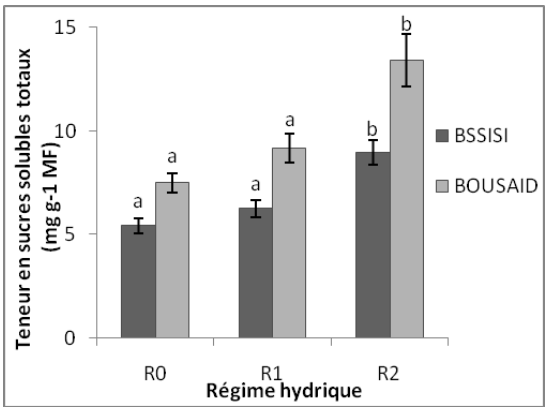


Figure 2. Variation de la teneur en sucres solubles chez les deux provenances du henné, Boussaïd et Bssisi en fonction du temps et de trois régimes hydriques.

L’analyse de cette figure montre qu’en régime irriguée (100% CC), Boussaïd produit la plus grande teneur en sucres solubles 7,5 mg/g MF, alors que la teneur de Bsissi est de l’ordre de 5,42 mg/g MF. Le déficit hydrique R_1 (50% CC), augmente l’accumulation des sucres solubles chez les deux provenances étudiées dans ces conditions de déficit hydrique. C’est la provenance Boussaïd qui produit plus de sucres (9,18 mg g^{-1}MF). L’application d’un régime sévère R_2 (25% CC), montre que les deux provenances Boussaïd et Bsissi présentent respectivement des valeurs moyennes de teneur en sucres solubles de l’ordre de 13,43 mg g^{-1}MF et 8,95 mg g^{-1}MF. Le gain en sucres est de l’ordre de 44,16% chez la provenance Boussaïd et 39,45% chez Bsissi.

3.3. Effet du stress hydrique sur la teneur en proline

La variation de la teneur en proline chez les deux provenances illustrée dans la figure 3.

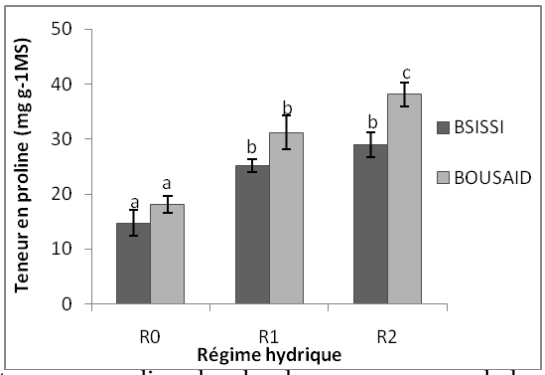


Figure 3. Variation de la teneur en proline chez les deux provenances du henné, Boussaïd et Bsissi en fonction du temps et de trois régimes hydriques

L’examen de cette figure montre que l’évolution de la teneur en proline est inversement proportionnelle à la dose d’irrigation. Le stress favorise l’augmentation de la teneur en proline chez la plante. En effet, dés qu’un déficit hydrique s’installe, la plante augmente sa teneur en proline. En régime témoin, Boussaïd présente la plus grande teneur en proline 18,1 mg g^{-1}MS alors que Bsissi, présente une teneur de l’ordre de 14,74 mg g^{-1}MS. Sous l’effet du stress hydrique, la teneur en proline a augmenté chez les deux provenances étudiées. A 50% CC, le stress hydrique a augmenté la teneur en proline ainsi, les deux provenances augmentent leurs teneurs en proline : 41,97% pour Boussaïd, 41,47% pour Bsissi. A 25% CC, Boussaïd et Bsissi présentent respectivement le taux suivants de proline : 38,12 et 28,96 mg g^{-1}MS. Le gain en proline est de l’ordre de 52,52% chez Boussaïd et 49,11% chez Bsissi. Chez la provenance Bsissi, le test de Duncan, calculé à une valeur de (α = 0,05), révèle que dés qu’un stress s’installe la plante a augmenté sa teneur en proline, il n’ya pas des différences significatives entre la réponse de la plante après l’application de stress modéré ou sévère. La plante répond au stress en augmentant sa teneur en proline indépendamment de l’intensité du stress appliquée. L’analyse des résultats de la proline permet de mettre en évidence un effet hautement à très hautement significatif des provenances et du régime hydrique sur l‘accumulation de la proline foliaire.

4. DISCUSSION

Le déficit hydrique réduit la croissance de la surface foliaire du henné, cette réduction est observable chez les deux provenances (Boussaïd et Bsissi). Des résultats similaires sont observés chez de nombreuses espèces de *Populus, Ziziphus*, etc (Thakur et Sood., 2005), chez *Eragrostis curvula, Oryza sativa, Abelmoschus esculentum*, et *Asteriscus Maritimes* (Rucker *et al*., 1995). Plusieurs recherches montrent que le manque d’eau cause des réductions importantes de la surface foliare. En effet, la limitation de la croissance foliaire est un mécanisme adaptatif qui permet de réduire la transpiration (Kramer et Boyer, 1995). La vitesse de division cellulaire décroît (Granier *et al.,* 2000), les parois cellulaires, qui doivent se déformer pour permettre la croissance cellulaire, deviennent plus rigides (Cosgrove, 2005), la turgescence décroît (Bouchabke *et al.,* 2006). Chacun de ces phénomènes met en jeu plusieurs familles de gènes dont les régulations ne sont qu'imparfaitement connues (Kiani *et al.,* 2007). La réduction de la surface foliaire est une forme d’adaptation à la sécheresse. Selon Arrandeau (1989), cette réduction tend à minimiser les pertes d’eau par transpiration, mais elle peut aussi provoquer une diminution du rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique.
Un effet très hautement significatif des provenances et des traitements hydriques sur le taux d‘accumulation des sucres solubles a été décelé par l’analyse de variance tout au long du stress chez les deux provenances étudiées. Les résultats obtenus montrent que les plantes stressées ont réagi par l‘augmentation des quantités de sucres au niveau de leurs cellules. Cette augmentation est en réalité un paramètre d’adaptation aux conditions de stress hydrique (Kameli et Losel, 1995), permettant de constituer une garantie pour le maintien d‘une intégrité cellulaire élevée (Bensalem, 1993). L’ajustement osmotique constitue le processus majeur permettant à la cellule de maintenir sa turgescence sous contrainte hydrique (Turner, 1983), grâce à l’accumulation active de sucres solubles (Ackerson, 1981). Outre l’accumulation des sucres solubles chez les plantes soumises aux conditions de limitations hydriques, on note une accumulation de proline. L’accumulation de la proline est environ 2 fois plus importante chez les plantes stressées et cela chez les deux provenances. L’accumulation de la proline intervient comme une réponse au déficit hydrique (Monneveux et Nemmar, 1986). Le stress hydrique appliqué a provoqué une augmentation considérable de l’accumulation de cette protéine chez les deux provenances du henné étudiées. Chez le niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.), Le déficit hydrique, induit aussi l’accumulation de la proline ainsi qu’une inhibition des dommages des processus photochimiques et biochimiques (Scotti *et al*., 1999).

5. CONCLUSIONS

Nos résultats montrent que le manque d’eau cause des réductions importantes de la surface foliaire. En effet, la limitation de la croissance foliaire est une forme d’adaptation à la sécheresse, cette réduction tend à minimiser les pertes d’eau par transpiration, mais elle peut aussi provoquer une diminution du rendement.Le déficit hydrique, induit aussi l’accumulation des solutés organiques (sucres, proline) cette accumulation n’est autre qu’un phénomène d’adaptation à la sécheresse, permettant à la plante de maintenir sa turgescence par la diminution du potentiel hydrique, c’est une forme d‘ajustement de son

potentiel osmotique. Ce type de tolérance permet à la plante d’assurer normalement ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique interne conséquente à la sécheresse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Ackerson R.C. (1981) : Osmoregulation in cotton in response to water stress. II. Leaf carbohydrate status in relation to osmotic adjustement. *Plant Physiol.*67, 489-493.
-Arrandeau M. A. (1989) : Breeding strategied for drought resistance. p, 107-116.
-Bensalem M. (1993) : Etude comparative de l‘adaptation à la sécheresse du blé, de l‘orge et du triticale. Dans : Tolérance à la Sécheresse des Céréales en Zone Méditerranéenne. Diversité Génétique et Amélioration Variétale. *Les Colloques de l‘INRA.* 64, 275-298.
-Bouchabke O., Tardieu F., et T. Simonneau. (2006) : Leaf growth and turgor in growing cells of maize (*Zea mays* L.) respond to evaporative demand in well-watered but not in water saturated soil. *Plant Cell & Environment*. 29, 1138-1148.
-Cosgrove D.J. (2005) : Growth of the cell wall. Nature Reviews. *Molecular Cell Biology*. 6, 850-861
-Granier C., Inzé D. et F. Tardieu. (2000) : Spatial distribution cell division rate can be deduced from that of P34cdc2 kinase activity in maize leaves grown in contrasting conditions of temperature and water status. *Plant Physiol.*124, 1393-1402.
-Rucker, K.S. Kvien C.K. Holbrook, C.C. et Wood J.E. (1995) : Identification of peanut genotypes with improved drought avoidance traits. Peanut Science. 22,14-18.
-Kameli, A. et Losel, D.M. (1995) : Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustement in wheat leaves under water stress. *J. Plant. Physiol*. 145, 363-366.
-Kramer P.J. et Boyer J.S. (1995) : Water relations of plants and soils (Book). Academic Press, Inc.
-Kiani P.S, Talia P., Maury P., Grieu P., Heinz R., Perrault A., Nishinakamasu V., Hopp E., Gentzbittel L., Paniego N. et Sarrafi A. (2007) : Genetic analysis of plant water status and osmotic adjustment in recombinant inbred lines of sunflower under two water treatments. *Plant Science*. 172, 773-787.
-Monneveux P. et Nemmar M. (1986) : Contribution à l’etude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (Triticum durum L.) et chez le blé dur (Triticum durum Desf.) : étude de l’accumulation de la proline au cours du cycle de développement. Agronomie. 6, 583-590.
-Scotti C. P., Ramalho J. C., Lauriano J.A., Silva L.J. et Céu-Matos D.M. (1999) : Effects of drought on phosynthetic performance and water relations of four Vigna genotypes. *Photosynthetica*. 36,79-87.
-Thakur P.S. Sood. R. (2005) : Drought tolerance of multipurpose agroforestry tree species during first and second summer droughts. *Indian Journal of Plant Physiology*. 10(11), 32-40.
-Turner N.C. (1983) : Adaptation to water deficits; a changing perspective. *Aust J Plant Physiol.* 13, 175.190.

Situation de la Vigne et étude de l’effet de la salinité des eaux d’irrigation sur la fertilité des cépages représentatifs des oasis de Tozeur

Sihem Ben Maachia[1*], Abir Habib[1,2], Ali Sahli[3], Houcine Sebei[2,] Mounira Harbi[4]
[1]Centre Régionale des Recherches en Agriculture Oasienne, Dégache, Tozeur, Tunisie
[2]Ecole Supérieur d’Agriculture Mograne, Zaghouane, Tunisie
[3] Institut National Agronomique de Tunisie, Cité Mahragène. EL Menzah. Tunisie.
[4] Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie, Laboratoire d’horticulture, Ariana, Tunisie
*Auteur correspondant: maachiasihem@yahoo.fr

RESUME
Une enquête a été réalisée afin d’évaluer la situation (comportements, techniques culturales) de la culture de la vigne dans les oasis de Tozeur. Plusieurs contraintes telles que le manque de vulgarisation et de la technicité des agriculteurs ainsi que l’inadaptation des cépages introduits aux conditions de la région ont conduit à la marginalisation de la culture dans ces régions. Par ailleurs, divers écotypes locaux et introduits ont fait preuve d’une adaptation de culture remarquable. Les cépages locaux sont les plus fréquents dans les oasis avec une fréquence de 67,85 % alors que les cultivars introduits ne présentent qu’une fréquence de 35,71 % avec la prédominance du Muscat d’Italie. Les prospections effectuées ont révélé l’existence de différentes qualités d’eau d’irrigation du point de vue charge en sel.
L’étude de comportement de ces écotypes représentatifs des vignes locales vis-à-vis de la qualité de l’eau d’irrigation, tenant comme exemple deux oasis irriguées par deux différentes charges en sel a révélé que les fluctuations du gradient de débourrement des bourgeons latents des cépages locaux des oasis s’expriment par différents comportements. Soit par une diminution du taux de débourrement (20% dans le cas de Chetwi), soit par changement de niveau du maximum du taux de débourrement (cas de Guelb sardouk qui dont le maximum de débourrement a changé du 6^{éme} et 7^{éme} bourgeon au 3^{éme} et 4^{éme} bourgeon pour respectivement les ceps irrigués par l’eau douce et salée).
Les résultats ont révélé que les cultivars introduits sont plus influencés par la salinité de l’eau d’irrigation que les cépages locaux. La fertilité des bourgeons des différents cépages locaux et introduits a montré, une diminution proportionnelle à l’élévation de la charge de l’eau d’irrigation en sel.
Mots clés: salinité, fertilité, cépage locaux, oasis

SUMMARY
A survey was conducted to assess the grapevine situation in the oasis of Tozeur. Several constraints such as the lack of training and sophistication of farmers as well as the inadequacy of introduced cultivars to the regional situation led to the culture marginalization. In addition, various local and introduced ecotypes showed an important adaptation. Local cultivars are most common in oasis with a frequency of 67.85% while the introduced one represent only 35.71% with a predominance of Muscat d’Italy. The surveys carried out revealed the existence of different water irrigation qualities.
The behavior study of the local cultivars under two water irrigation qualities was conducted. Results revealed that fluctuations in the latent budburst are expressed by different responses. Such as by decreasing the rate of budding (20% in the case of Chetwi) or by changing the level of the maximum rate of budding (Guelb Sardouk that which the maximum budding changed from the 6th to the 7th and from the 3rd bud to the 4th one respectively for grapevines irrigated with fresh and salty water).
Results showed that the introduced cultivars are more influenced by water irrigation salinity than the local ones. Bud fertility was inversely proportional to the salinity of water irrigation.
Key words: salinity, fertility, Local grape, oasis

1. INTRODUCTION

La vigne dans son ensemble peut se développer dans presque tous les climats et dans toutes les régions du monde de par les grandes capacités d’adaptation de ses nombreuses espèces. Néanmoins, à l’échelle mondiale *V. vinifera* est l’espèce viticole la plus commune et la plus importante au niveau économique (Galet, 1993). Le raisin issu du genre *Vitis* est le fruit au premier rang des productions fruitières dans le monde du point de vue quantité et importance économique (This et al., 2006; Vivier

et Pretorius, 2002). Malgré sa grande importance économique dans le contexte mondial la vigne constitue un modèle biologique peu étudié qui ne mobilise pas de moyens de recherche importants permettant d'aboutir rapidement à des avancées fondamentales dans la connaissance du végétal. Il reste donc à mener des nombreuses études sur la physiologie et les interactions avec le milieu physique de cette plante pour mieux comprendre ses aspects. Ces études permettraient de dégager les voies qui pourraient être utilisées pour améliorer les performances agronomiques de cette culture dans le cadre d'une viticulture raisonnée.
Les plantes développent un nombre important de mécanismes pour faire face au stress salin. Dans ce travail nous proposons d'étudier les réponses de quelques cépages locaux des oasis aux stress induits par l'irrigation par l'eau chargée en sels.

2. MATERIELS ET METHODES

L'enquête socio-économique et technique a été réalisée afin de pouvoir collecter le maximum d'informations sur tous les paramètres influençant la viticulture dans les oasis. Afin de dégager les effets de l'irrigation par des eaux de différentes salinités sur les écotypes de vigne existants dans les oasis du Djérid, une étude a été réalisée. Les ceps pris en considération, appartiennent à deux palmeraies et sont de même âge (10ans), l'une irriguée par une eau douce (2,4 g/l) et la deuxième par une eau salée (5,7g/l).
Lors de l'enquête, quatre ceps de chaque écotype ont été étudiés. Les mensurations concernent 5 baguettes et 5 coursons.
Les mesures prises sont :
- Le nombre des grappes par bourgeon sur la baguette et sur le courson
- Le taux de débourrement: c'est le nombre de bourgeons latents laissés à la taille qui produisent des rameaux, par rapport au nombre total de bourgeons latents laissés à la taille. Ce taux est fortement influencé par la vigueur et par la variété.
La fertilité est calculculée selon la formule :

$$\text{La fertilité} = \frac{\text{Nombre total des grappes}}{\text{Nombre des bourgeons débourrés}} * 100$$

Les variétés testées étant : "Arbi", Meski, Guelb Sardouk, Khala, Chetwi et Meski comme variété autochtones et Muscat d'Italie commme variété introduite.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Situation de la vigne dans les oasis de Tozeur

3.1.1. Importance des cépages locaux et introduits dans les oasis

Les prospections ont permis de repérer des écotypes locaux et introduits (Tableau 1). Leurs appellations sont locales indiquant parfois la couleur de raisin (Kahla), la saison de maturité (Chetwi), la forme de fruit (Guelb Sardouk). Le tableau 1 présente la fréquence de culture des écotypess existants dans les oasis. En effet, deux écotypes locaux, Arbi avec une fréquence de 63,3 % et Kahla avec une fréquence de 43,3 %. La variété introduite Muscat d'Italie se retrouve avec une fréquence de 36,7 %. Les trois variétés mentionnées semblent être les plus fréquentes dans les oasis. Les deux variétés Chetwi et Guelb Sardouk sont rarement cultivées dans l'oasis et de fait elles sont en voie de disparition.

Tableau 1. Importance des principaux écotypes chez les agriculteurs enquêtés

Ecotype	Nombre d'exploitations	Pourcentage (%)	Fréquence
Arbi	19	67,85	Très fréquent
Muscat d'Italie	10	35,71	Fréquent
Meski 1	5	17,85	Très rare
Meski 2	5	17,85	Très rare
Guelb Sardouk	6	21,42	Rare
Kahla	13	46,42	Fréquent
Chetwi	4	14,28	Très rare

Autres	7	25	Rare

3.1.2. Conduite de la vigne dans les oasis

L’étude réalisée a concerné également les principales techniques culturales de la vigne qui sont pratiquées dans les oasis. Ces techniques : sont la taille, la fertilisation et l’irrigation.

Concernant la taille, il s’est avéré que la majorité des agriculteurs (70%) appliquent la taille classique des arbres fruitiers. Toutefois, la taille pratiquée dans les oasis n’est pas conduite ni selon les espèces ni leurs besoins. Elle consiste à éliminer les sarments et les rameaux qui se développent en dehors des limites de l’espace réservé pour chaque arbre. C’est une opération marginalisée et n’obéit pas aux normes connues pour chaque espèce.

Tous les agriculteurs visités apportent de fumier avec des doses différentes ainsi que des fréquences de 3 à 4 ans selon les sites. La fumure est généralement destinée pour la fertilisation de palmier dattier, et puisque la majorité des arbres fruitiers sont placés sous ces palmiers ou entre celles-ci, elles en profitent.

Dans les oasis, tous les agriculteurs appliquent une irrigation par submersion permettant l’irrigation de toute la parcelle tout en couvrant les besoins de toutes les cultures présentes (palmier, arbres fruitiers et cultures maraîchères).

Ce sont les GDA (Goupement de Développement Agricole) ou les puits superficiels qui fournissent l’eau d’irrigation aux oasis visitées. Quoique, l’eau fournie par le GDAsoit la source majeure d’irrigation, 65% des agriculteurs ont des puits de surface ou des puits profonds qui leur permettent de disposer des quantités d’eau supplémentaires. Cependant, la plupart des eaux offertes par ces puits ont des charges en sel élevées (Fig. 1). En effet, ces charges varient de 1,9 à 10,62 g/l. Ces variations sont dues principalement à la profondeur des puits et donc à la nappe en question. D’autre part, la salinité des eaux de GDA varie, selon nos mesures, de 1,8 à 3 g/l.

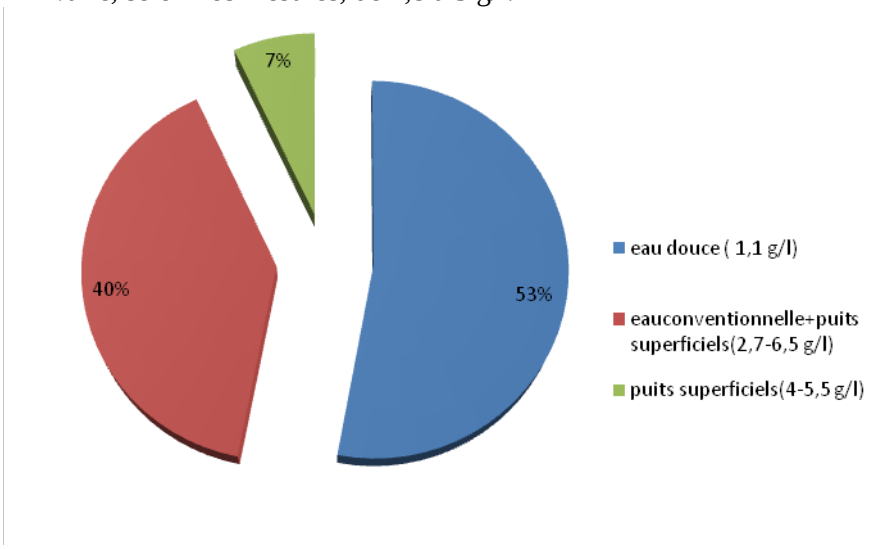


Figure 1. Différentes sources d’eau d’irrigation dans les oasis de Tozeur

3.2. Etude de l’effet de la salinité sur les cépages locaux dans les oasis

3.2.1. Fluctuation du débourrement des bourgeons latents selon le rang du bourgeon sur la baguette

L’effet de la salinité sur le taux de débourrement des bourgeons sur la baguette s’exprime comme suit:

-une légère diminution du taux de débourrement, de 20% pour Muscat d’Alexandrie, Muscat d’Italie et Chetwi

- un changement de niveau de maximum du taux soit par l’avancement du niveau (Meski2, Arbi 3 et Kahla 1) ou par recule du niveau comme c’est le cas de Arbi 2.

- une légère augmentation du taux de 40% pour Arbi 1 et de 20% pour Galb Sardouk et Kahla 2.

On peut classer les bourgeons à comportement semblable de la façon suivante:

Groupe I: contenant les bourgeons 1, 2 et 3

GroupeII: contenant les bourgeons 4, 5, 6 et 7

GroupeIII: contenant les bourgeons 8, 9 et 10.

Tableau 2. Pourcentage de débourrement des bourgeons sur la baguette

Variété	Salinité	Rang du bourgeon									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Meski 1	**S1**	40	60	**100**	**100**	**80**	**80**	60	60	20	0
	S2	20	40	**80**	**80**	**60**	20	20	40	40	40
Muscat d’Italie	**S1**	20	40	60	**100**	**80**	60	60	40	0	0
	S2	40	40	**80**	60	40	60	**80**	**80**	40	20
Meski 2	**S1**	20	60	60	**80**	**80**	20	20	60	20	20
	S2	40	40	60	60	**80**	60	20	0	20	0
Arbi 1	**S1**	40	40	**60**	40	**60**	40	20	20	20	20
	S2	40	60	60	**80**	**80**	**100**	40	60	40	60
Arbi 2	**S1**	40	60	60	**80**	**80**	40	40	20	20	40
	S2	40	40	**80**	**80**	**80**	20	40	40	20	20
Arbi 3	**S1**	20	40	40	**80**	20	**80**	**80**	40	40	20
	S2	20	20	60	60	60	40	**80**	40	20	80
Kahla 1	**S1**	60	80	**100**	80	60	40	40	40	40	40
	S2	0	40	40	80	80	**100**	**100**	80	60	60
Kahla 2	**S1**	0	20	60	**80**	40	60	40	**80**	20	60
	S2	20	40	60	**100**	**100**	60	60	40	40	20
Guelb Sardouk	**S1**	40	40	**60**	40	20	**60**	**60**	**60**	**60**	20
	S2	20	40	**80**	**80**	60	60	60	40	40	40
Chetwi	**S1**	0	40	80	**100**	80	60	60	40	40	0
	S2	20	**60**	**80**	**60**	**60**	**60**	**80**	40	40	20

3.2.2. Pourcentage de débourrement des bourgeons 1, 2 et 3 sur la baguette

Les pourcentages de débourrement des bourgeons 1, 2 et 3 pour chaque écotype et pour les deux qualités d’eaux d’irrigation sont regroupés dans le tableau 3.

Le tableau 3 montre que:

- Pour le bourgeon 1, le taux de débourrement moyen est de 28% et 26% respectivement pour les ceps irrigués par les eaux, douces et salées. Ces taux sont variables d’un cépage à un autre. Les variations les plus remarquables sont enregistrées chez la variété Kahla1, qui a montré un taux de 60% pour S1 et qui a chuté à 0 sous conditions de salinité.

- Pour le bourgeon 2, le taux de débourrement moyen pour ce niveau a également enregistré une légère diminution pour l’ensemble des écotypes. Cette diminution est enregistrée principalement pour Meski1, Meski2 et Kahla1.

- Concernant le bourgeon 3, le taux de débourrement moyen est de 68% pour les deux qualités d’eau d’irrigation. Par ailleurs, nous avons enregistré des réactions différentes selon les cépages. En effet, une diminution du taux de débourrement a été enregistrée pour les Meski1 et Kahla1. Par contre, pour le Muscat d’Italie, Arbi 2 et Guelb Sardouk nous avons enregistré des augmentations dans leur taux de débourrement qui a varie de 60% à 80% pour respectivement les ceps irrigués par l’eau à faible et haute salinité.)

En considérant le débourrement des trois bourgeons successifs de la base, indépendamment de l’effet du cépage et d’autres facteurs, on peut dire que le taux de débourrement à la base de la baguette croit d’un bourgeon au bourgeon immédiatement supérieur. La salinité n’agit que par une légère chute sur la valeur du taux de débourrement moyen pour le bourgeon 1 et 2 et sur la valeur maximale du taux de l’ensemble des écotypes au niveau des trois bourgeons.

Tableau 3. Pourcentage de débourrement des trois premiers bourgeons de la base des différentes variétés

		Variété										
Rang de bourgeon	Salinité	Meski1 (%)	Muscat d'Italie (%)	Meski 2 (%)	Arbi 1 (%)	Arbi 2 (%)	Arbi 3 (%)	Kahla1 (%)	Kahla2 (%)	Guelb Sardouk (%)	Chetwi (%)	Moyenne (%)
1	S1	40	20	20	40	40	20	60	0	40	0	28
	S2	20	40	40	40	40	20	0	20	20	20	26
2	S1	60	40	60	40	60	40	80	20	40	40	48
	S2	40	40	40	60	40	20	40	40	40	60	42
3	S1	100	60	60	60	60	40	100	60	60	80	68
	S2	80	80	60	60	80	60	40	60	80	80	68

3.2.3. Fluctuation de nombre des grappes par bourgeon sur la baguette

La distribution des grappes par bourgeon sur la baguette des écotypes des deux parcelles (S1 et S2) a été étudiée. Le pourcentage de bourgeons non fructifères augmente chez les ceps irrigués par de l'eau salée pour la totalité des écotypes étudiés.Guelb Sardouk, Meski 2 et Muscat d'Italie révèlent les fréquences les plus élevées de la présence de 2 grappes sur la baguette (Fig. 2).

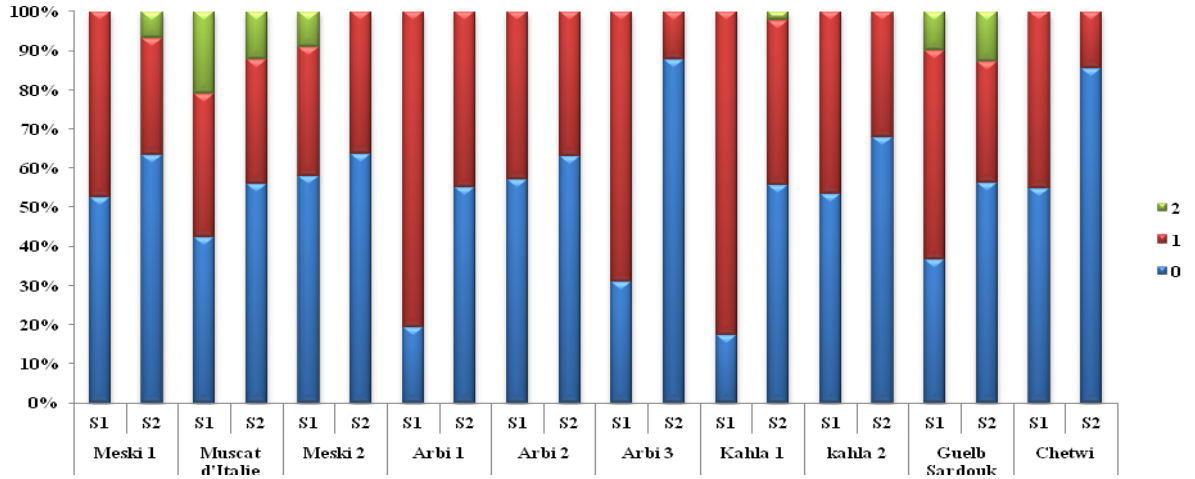


Figure 2. Fréquence de la distribution des grappes par bourgeon sur la baguette.

3.2.4.Variation de la fertilité en fonction du nombre de bourgeons débourrés

Le tableau 4 montre que la fertilité des écotypes irrigués par l'eau douce est relativement élevée. Elle est de l'ordre de 83,33% et 40% respectivement pour Arbi 1 et Chetwi. Alors que pour les écotypes irrigués par l'eau salée, la fertilité est très faible, de l'ordre de 57,14% pour le Muscat d'Italie et peut atteindre jusqu'à 12,5% pour Arbi 3.

L'écotype le plus influencé par l'effet de la salinité est Arbi 3 pour lequel la fertilité a chuté de 70,83% à 12,5% ; ce fait confirme les résultats de l'enquête. Alors que l'écotype Kahla 1 est le moins sensible, sa fertilité diminue seulemenr de 65,51% à 50% (Tableau 4).

Tableau 4. Variation de la fertilité en fonction du nombre de bourgeons débourrés

Variété	**Salinité**	**Fertilité%**	**Taux de variation%**
Meski 1	S1	46,66	41,56
	S2	27,27	
Muscat d'Italie	S1	81,81	30,15
	S2	**57,14**	
Meski 2	S1	50	26,32
	S2	36,84	

Arbi 1	S1	**83,33**	45,45
	S2	45,45	
Arbi 2	S1	41,66	**16,51**
	S2	34,78	
Arbi 3	S1	70,83	**82,35**
	S2	**12,5**	
Kahla 1	S1	65,51	23,67
	S2	50	
Kahla 2	S1	56,52	48,40
	S2	29,16	
Guelb Sardouk	S1	69,56	22,59
	S2	53,84	
Chetwi	S1	**40**	61,55
	S2	15,38	

4. CONCLUSION

Durant ce travail, nous avons envisagé d’évaluer la vigne comme étant une culture et une source d’amélioration des revenues des agriculteurs dans les oasis. Durant les prospections nous avons pu dégager les majeures contraintes qui subissent ces cultures dans la région. Un premier travail a concerné l’étude de l’effet d’irrigation par une eau de salinité supérieure à 4 g/l sur le débourrement et la fertilité des cépages de vigne dans les oasis.

Les résultats obtenus pour les différents écotypes ont révélé que l’irrigation par des eaux de différentes qualités (salinité) a des répercussions directes sur le débourrement des ceps et leur fertilité. Ainsi, une augmentation de la salinité d’eau d’irrigation peut induire une importante diminution de la fertilité qui peut dépasser 50% tel est le cas de la variété Meski1.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Galet (1993) : Précis de viticulture, 6ème édition Déhan, Montpellier, 575 p.

6This P., Lacombe T., Thomas M.R. (2006) : Historical origins and genetic diversity of wine grapes. Trends in Genetics 22(9), 511-519..

6Vivier M.A., Pretorius I.S. (2002) : Genetically tailored grapevines for the wine industry. Trends Biotechnology. 20, 472-478.

Modèle de gestion durable de l’eau : Cas de l’oasis de Boukaïs (Bechar, SW algérien)

FELLAH Ahmed Hamza[1], MADANI Mohamed[2], MEKKAOUI Abderrahmane[1], BAKHEDA Reddouane[1]
[1]Université de Bechar. Algérie
[2]Direction de l’environnement W. Bechar, Algérie
E-mail : fellahamza@yahoo.fr

RESUME

L’oasis de Boukïs fait partie des ksour du Nord de la Wilaya de Bechar (Algérie). Elle est de type de montagne, se situant dans la zone de transition entre l’Atlas saharien et le Sahara. Elle persiste depuis des siècles, grâce au maintien du savoir faire ancestral et l’efficacité du système d’irrigation traditionnelle ingénieux, orchestré par une gestion sociale participative de l’eau.

Ce système repose principalement de l’eau jaillissante de la source de Sidi El Haj Ali, d’un débit de 20 l/s (Idrotecnica 1976). Cette dernière est acheminée gravitairement vers les différentes parcelles de la palmeraie, à l’aide d’un réseau arborisant de seguia. La distribution de l’eau obéit aux droits coutumiers, en fonction du temps qui est contrôlé par une horloge solaire. Les opérations de transaction de cette précieuse substance sont gérées par des règles conventionnelles de la société locale.

Ce système d’irrigation est un modèle de gestion qui assure l’harmonie entre l’art de maitrise de l’eau, de l’équité et la cohésion sociale avec l’état de l’écosystème. Elle garantie les objectifs de la gestion intégrée des ressources en eau (la durabilité des ressources, la participation à l’échelle locale, et faisabilité en termes de coûts et équité) depuis longtemps.

Cette gestion durable intégrée des ressources en eau est actuellement sollicitée internationalement, après la crise des modèles hydro-agricoles dans les périmètres irrigués et la dégradation de plusieurs Oasis engendrée par l’introduction des moyens modernes non adaptés à leurs écosystèmes vulnérables aggravés par la gestion individuelle de l’eau et la confrontation aux défis des changements climatiques.

La présente contribution vise à faire connaître les règles et les principes de fonctionnements de ce système pour mieux le préserver et le mettre en valeur. Cette valorisation peut permettre la préconisation d’un éventuel modèle adapté pour résoudre les problèmes des périmètres irrigués dans les zones arides.

Mots clés : Gestion durable, système d’irrigation traditionnel, Oasis de Boukais, savoir faire ancestral, horloge solaire.

SUMMARY

It iskind of mountain, located inthe transition zone between the Saharian Atlas and the Sahara. It persists for centuries, through the maintenance of ancestral knowledge and the effectiveness of traditional ingenious irrigation system, orchestrated by asocial participatory water management.

This system is mainly water gushing source of Sidel Haj Alia rate of 20 1/s (Idrotecnica1976). It is gravityfed to the various plots of the palm, using a network arborisant Seguia. The water distribution obeys the customary,depending on the time whichis controlled by a sundial. Operations of this precious substance transactionare managed by conventional rules of the local society. This Irrigation system is a model that ensures the harmony between the art of water control and fairness and social cohesion with the state of the ecosystem.

It ensures the objectives of the integrated management of water resources (resource sustainability, participation at the local scale, and feasibility in terms of costand equity) long. The sustainable integrated management of water resourcesis being requested internationally, after the crisis of irrigation patterns in irrigated perimeters and many of the different degradation Oasis generated by the introduction of modern means not adapted to their vulnerable ecosystems aggravated by the individual management water and confrontation with the challenges of climate change. This contribution is to know the rules and principles of operation of this system to better preserve and valorize it.This value may allow are commendation eventual model suitable for solving the problems of irrigation in arid areas.

Keywords:sustainable management,subsystemtraditionalirrigation,Oasis Boukais,ancestralknowledge, clock Solar.

1. INTRODUCTION

Le constat dans les oasis à travers le territoire de la Wilaya de Bechar montre que ces dernières sont dans un état très dégradé, du fait de la disparition du savoir faire ancestral dans la gestion de l’eau d’irrigation. Cependant, quelques oasis comme celle de Boukaïs persiste jusqu’à l’actuel grâce au maintien de son système d’irrigation traditionnel ingénieux, orchestré par une gestion social participative de l’eau.

Cette contribution vise à faire connaitre les règles, les principes et les logiques de fonctionnements de ce système pour mieux le préserver et le mettre en valeur.

En premier temps, on entamera l’observation et l’analyse de l’organisation spatiale de ce système qui va permettre la compréhension des principes de fonctionnements et de l’organisation sociale.

2. MATERIELS ET METHODES

2. 1. Présentation de la zone d’étude

L’oasis de Boukaïs est située à 50 Km au Nord de la ville de Bechar (Algérie) et au Sud de la frontière Marocaine ; Elle fait partie des ksour du Nord de la Wilaya de Bechar (Figue 1.A). Elle est de type de montagne, appartenant à un étage bioclimatique aride (Dubief 1959).

Cette oasis comporte un ancien noyau urbain qui est le Ksar mitoyen à la palmeraie. Elle a connu ces derniers temps une nouvelle extension urbaine (Figue 1.B). La population de cette oasis est estimée à 1216 Habitants (DPAT 2007).

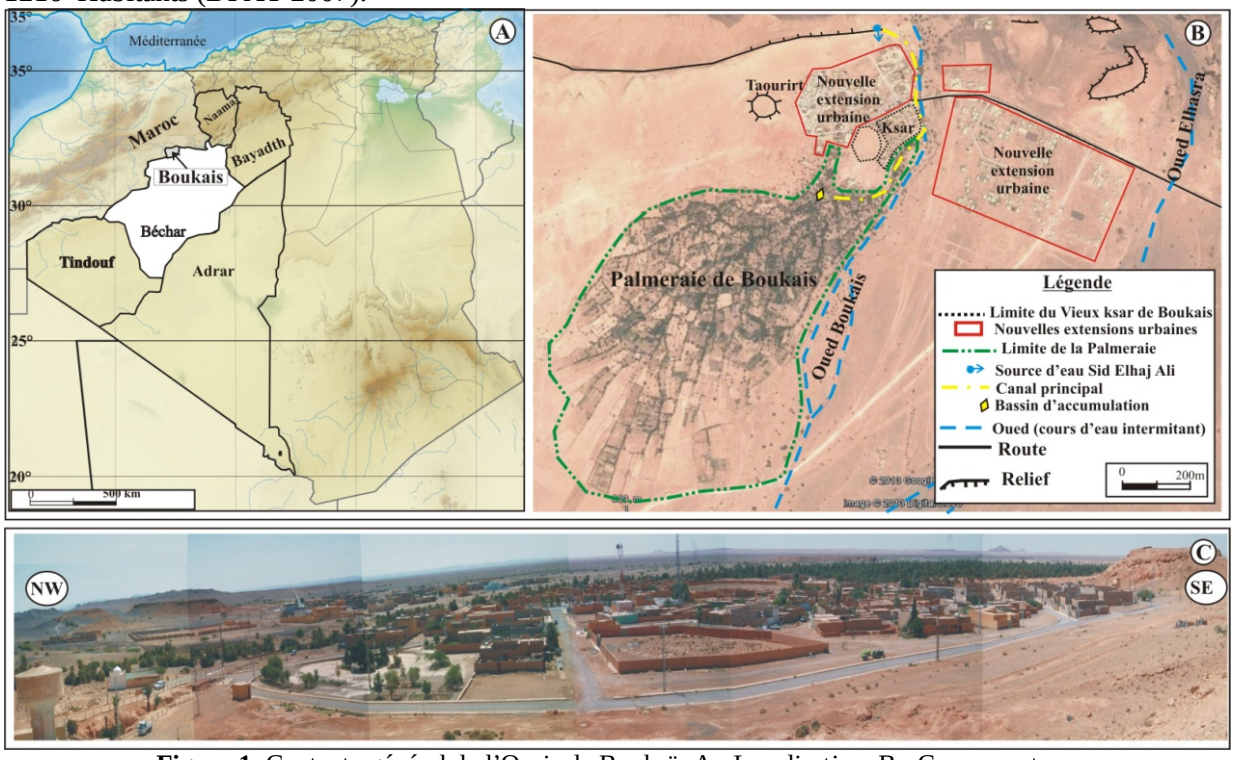


Figure 1. Contexte général de l’Oasis de Boukaïs A : Localisation. B : Composantes C : Panorama général

La palmeraie de Boukaïs présente les caractéristiques d’un espace oasien traditionnel. Elle d’une superficie estimée de 60 hectares. Cet espace agricole forme un microclimat humide, où de nombreuses familles exploitent des parcelles de façon intensive en trois étages : le palmier, l’arbre fruitier et les cultures maraichères.

L’irrigation de cette palmeraie est assurée principalement à partir d’un exutoire de la nappe calcaire du Turonien avec un débit de 20 l/s, situé au Nord de cette dernière. La source d’eau porte le nom du Marabou « *Sid El Haj Ali* ».

2. 2. Méthodologie

Une recherche a été entamée sur l'historique de ce système, mais malheureusement aucune documentation n'est disponible, seuls des récits oraux de la population locale. Ce n'est qu'en 2009 que Mr Bakhada s'est intéressé à ce système d'irrigation traditionnel dont sa contribution a porté de la lumière sur ce dit système.

Face à l'indisponibilité des documents cartographiques, pour la représentation spatiale du système d'irrigation, on s'est basé sur les photos satellitaires « Google Earth 2013 ».

Plusieurs sorties sur le terrain ont été effectuée sur le site pour explorer la zone d'étude, la diagnostiquer et cibler les éléments constituants de ce système. En deuxième étape on a procédé à des séances de photographies, de mesures et d'entretiens.

Les entretiens on été réalisés avec des groupes de la population locale de différentes générations et de différentes appartenances familiales. Le recoupement des récits nous a permis de mieux retracer l'histoire du système d'irrigation, son fonctionnement, et les logiques de gestion.

3. RESULTATS

3. 1. Organisation spatiale des éléments composants du système d'irrigation

L'organisation spatiale d'un système d'irrigation est l'empreinte laissée dans le paysage par les réseaux hydrauliques et les parcellaires associées (Cressier 2006).

Le système d'irrigation traditionnel à Boukais est constitué de trois parties respectivement : le captage, la mobilisation et la distribution (Figure 2).

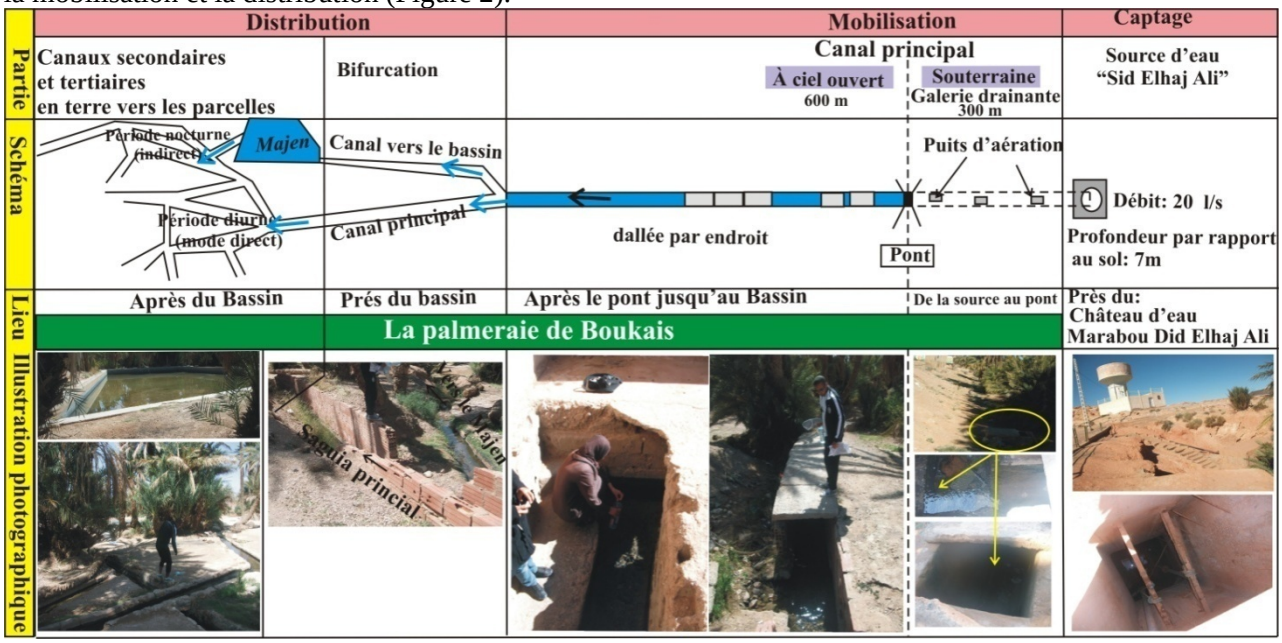


Figure 2. Organisation spatiale des éléments du système d'irrigation de l'Oasis Boukaïs

Le captage de la source de « *Sidi El Haj Ali* » est situé au Nord de la palmeraie. Les eaux mobilisées de la source sont acheminées gravitairement vers la palmeraie, à l'aide d'un canal principal. Ce dernier est d'une longueur d'environ 900 m jusqu'au bassin d'accumulation *« Majen »*. Il comprend deux tronçons, un est souterrain d'une longueur d'environ 300 m et l'autre est à ciel ouvert à partir du pont d'environ 600 m de longueur.

La distribution de l'eau vers les parcelles s'effectue à l'aide d'un réseau complexe formé de canaux secondaires et tertiaires *« Saguia »*.Elle est réalisée selon deux modes. Le premier est de mode direct à partir du canal principal, en période diurne. Le second mode est indirect à partir du *« Majen »*, en période nocturne.

3. 2. Organisation sociale du partage de l'eau

Le partage et la gestion sociale de l'eauàBoukaïs sont basés sur le temps, tour *(« Nouba »)* et la rotation entre les ayants droit**.** Le droit de l'eau (parts de l'eau) est considéré comme une propriété que l'on pouvait louer, prêter, vendre ou échanger, exactement comme toute autre propriété.

3. 2. 1. Evolution du calendrier d’irrigation

Selon l’historique, les parts d’eau sont répartis en fonction des familles d’origine du Ksar Boukaïs. Elles étaient de nombre de 19 ayants droits. Après l’arrivée de l’islam, deux parts se sont rajoutées, celle de « *Touchrickt* » et de la « *Zaouia* », pour compléter la liste des 21 ayants droits (Tableau 1). Chaque ayant droit possède une journée d’irrigation donc une rotation de tour tout les 22 jours. Cette répartition des parts est devenue un calendrier d’irrigation dans l’Oasis de Boukais.

Tableau 1. Calendrier d’irrigation

N°	**Anciens ayants droits**		**Anciens ayants droits**	N°	**Anciens ayants droits (jour)**
1	Bajaber	8	Aït Messoud	15	Aït Hamou Ali 1
2	Yahia ou malek	9	Zaouia (une journée)	16	Aït Hamou Ali 2
3	Moussa ou Aissa	10	Aït Ghanem	17	Ba Mhemed
4	Ba Daoud	11	Aït Rahou ou Amer	18	Moussa ou Daoud (Ait Amrane)
5	Touchrikt (khissan)	12	Ba Hamd ou Hamou	19	Atou ti dighem
6	Aït Amar ou Brahim	13	Sidi Ali	20	Aït Daoud ou Aissa
7	Aït Moussa ou Daoud	14	Aït Dalem	21	Aït Hamou ou Ahmed

Au fil des années, des différentes transactions d’achat, vente et de location ont modifié la propriété de l’eau, passant de la population d’origine vers d’autres nouveaux ayants droits.Ces derniers sont actuellement au nombre de 60 irrigants, tout en préservant l’ancien calendrier avec les noms des journées des anciens ayants droits. Actuellement l’eau d’une journée d’irrigation est exploitée par 4 à 8 irrigants.

L’efficacité de ce calendrier d’irrigation et sa conservation sont des arguments du maintien de cette oasis jusqu'à présent. Chaque journée de ce calendrier est repartie en (16) unités *« Thman »* (8 unités le jour et 8 unités la nuit) (Figure 3).

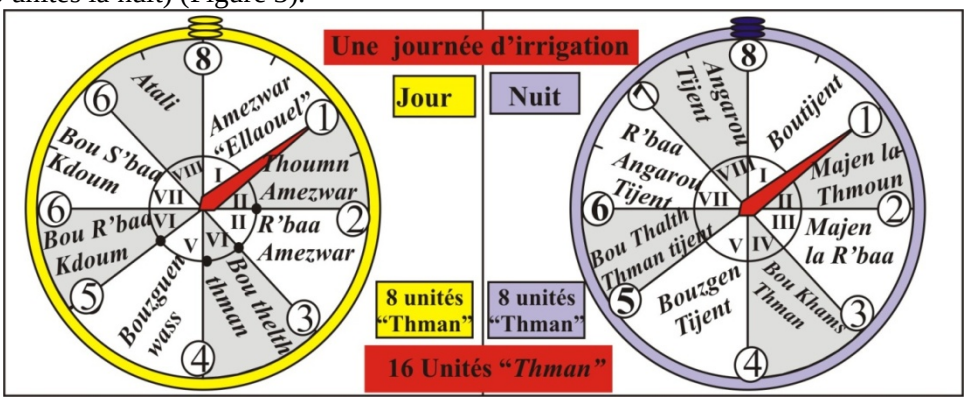


Figure 3. Subdivision d’une journée du calendrier d’irrigation de Boukais

3. 2. 2. Instruments de mesure des parts

Le partage de l’eau est basé sur le temps mesuré par plusieurs instruments en fonction du mode de répartition (Figure 4).

En mode direct (en période diurne), le temps est mesuré à l’aide d’une horloge solaire. Elle consiste à mesurer l’ombre de l’homme prés du « *Majen* » ou l’ombre du mur de « *Haouche Ennouaday* » au niveau du Ksar.

La période diurne de la journée est subdivisée en deux parties:

La première partie du levé du soleil à l’après midi : elle renferme cinq (5) unités « *Thman* » qui sont respectivement : « *Awezwar, Thman amezwar, R’baa amezwar, Bou telt thman, Bouzgem wess* ». Les deux premières unités « *Awezwar, Thman amezwar* » sont déterminées à l’aide de la mesure de l’ombre de l’homme, en utilisant les pieds *« Kdoum »*: la première unité vaut 17 pieds et la deuxième vaut 9 pieds.Après ces deux unités, on utilise l’ombre du mur qui permet le complément de la répartition avec trois (3) unités.

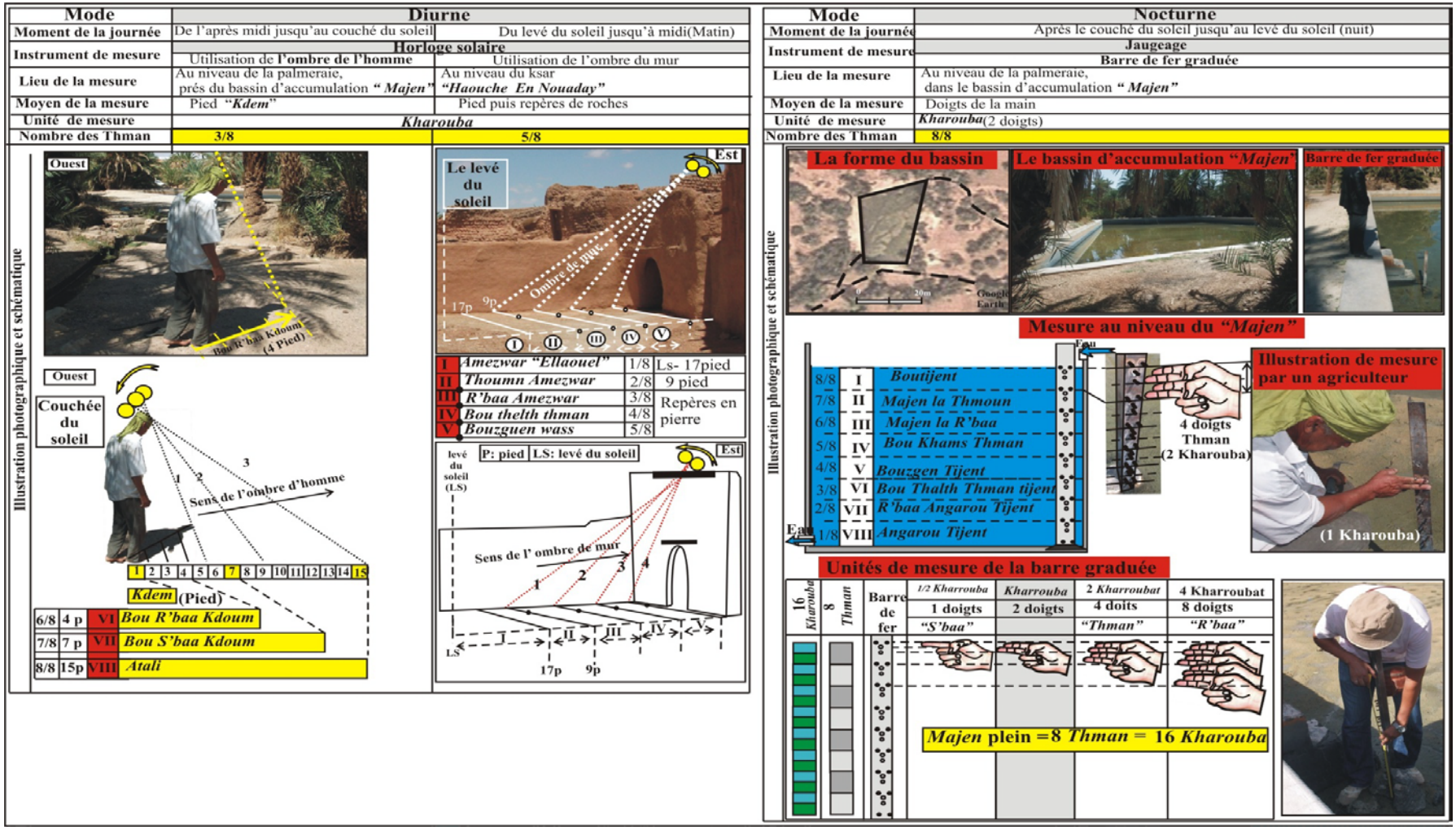


Figure 4. La mesure des parts du système d'irrigation à Boukaïs

Dans un premier temps, les repères de ces trois (3) dernières unités ont été marqués au sol par des petits creux, puis évoluant à des pierres ancrées au sol. Ces marquages reçoivent l'ombre du mur à un moment précis de la journée, indiquent le début ou la fin d'un espace temps déterminé « *R'baa amezwar, Bou telt thman, Bouzgem wess* ».
La deuxième partie de l'après midi au couché du soleil: elle renferme trois (3) unités *« Thman »*qui sont respectivement *« Bou R'baa kdoum, Bou S'baa kedoum et Atali »*. Les temps sont déterminés à l'aide de la mesure de l'ombre de l'homme, en utilisant les pieds *« Kdoum »*.
En mode indirect (en période diurne), le temps est mesuré à l'aide d'une jauge (barre de fer graduée) fixée sur le planché du bassin d'accumulation (figure 4). Cette barre d'une longueur de 105 Cm et de largeur de 4 Cm, est graduée sur les 80 Cm à partir de la base avec des intervalles équidistants mesurés en utilisant les doigts de la main *« s'baa »*.
La période nocturne de la journée comporte (8) huit unités qui sont : *« Boutijent, Majen la thman, Majen la R'baa, Bou khams thman, bouzgen tijent, Bou thalth thman tijent, R'baa angarou tijent et Angarou tijent »*.

3.2.3. L'unité de mesure

Le partage de l'eau dans l'Oasis de Boukaïs est basé sur l'unité de mesures appelée « *Kharrouba* », qui est la moitie du « *Thman* ». La journée d'irrigation comporte 32 « *Kharrouba* », l'équivalant de 16 « *Thman* ».
Selon le mode de répartition, il existe deux types de « *Kharrouba* » : la *Kharrouba* diurne et la *Kharrouba* nocturne. La *Kharrouba* diurne est variable selon les saisons, en fonction de la durée d'ensoleillement (jour). Elle mesure un espace-temps d'intervalles irréguliers. La *Kharrouba* nocturne est constante et mesure un espace-temps d'intervalles réguliers qui correspond à deux (2) doigts sur la barre de graduation du « *Majen* ». Elle est évaluée à un temps de (30mn) pour un volume d'eau bien déterminé.

3.2.4. Une répartition autocontrôlée

On constate dans ce système d'irrigation aucune existence d'institution ou d'association ou responsable de contrôle de la bonne gestion de l'eau et le règlement du conflit. Ainsi que l'absence de document officiel mentionnant les parts d'ayants droits, les transactions ou les règles de fonctionnement.
La responsabilité est partagée entre les deux ayants droits présents au moment de l'irrigation. Celui qui irrigue et celui qui attend son tour. En cas de conflit, les agriculteurs se réunissent pour juger les infractions. Le groupe s'autocontrôle lui même en appliquant et revendiquent ses règles, principes et valeurs.
En cas d'absence de la personne qui va succéder l'agriculteur en fin de tour d'irrigation, ce dernier peut utiliser la part de son succédeur et devient un prêt. Dans le cas contraire ce dernier dirigera l'eau vers l'Oued.

3.2.5. Les principes

Le calendrier d'irrigation à Boukaïs impose les principes suivants :
« Tour ou Nouba » : le roulement est un principe qui crée un ordre organisateur et structurant dans les communautés. Il s'applique aussi aux activités collectives autres que celle de l'irrigation (Briot 1990, Wateau 2001 et Wateau 2004). Dans l'Oasis de Boukaïs, le ayant droit voit sont tour de l'eau d'irrigation se répète tout les 22 jours.
L'alternance, cyclicité ou rotation : personne n'est privilégié dans le groupe tant qu'il ya une rotation de la position de répartition sur toutes les 16 unités du jour.
L'équité : à chacun son dû selon son droit (Briot 1996 in Wateau 2006), consisté à considérer que tous les bénéficières d'eau ont droit à une même logique de distribution et à des règles et notamment, à une même procédé qui permet d'alterner les heures de prises d'eau pour l'irrigation (Wateau 2006). Des mesures en temps est une manière bien réfléchie car le débit de la source varie selon la saison, l'abondance ou la rareté auraient pu favoriser ou affecter certains ayants droit à l'avantage ou au détriment d'autres (Madani 2006).

3.2.6. Un système bourré des valeurs

Le système d’irrigation à Boukaïs est un construit humain quireprésente un témoin des rapports entre les groupes sociaux dans le Sud de la méditerranée et symbole de la culture d’adaptation et de la maîtrise de l’eau dans les zones arides. C’est un savoir faire ancestral transmet de génération à l’autres d’une façon orale et par apprentissage. Il est un exemple d’autonomie et du savoir vivre ensemble basé sur : le regroupement, organisation collective, la tolérance, solidarité, la coopération et la collaboration).

3.2.7. Une gestion ancestrale qui assure la durabilité

Ce système d’irrigation assure les objectifs de la gestion durable intégrée des ressources en eau (la durabilité des ressources, participation à l’échelle locale, et faisabilité en termes de coûts et équité) depuis plusieurs siècles.

4. CONCLUSION

Ce système d’irrigation est un modèle de gestion durable. Il fait rentrer en harmonie l’art de la maitrise de l’eau, de l’équité et de la cohésion sociale avec l’état de l’écosystème. Son maintien dure depuis plusieurs siècles. Il représente un patrimoine culturel et historique et un caché identitaire qui devrait être préservé et valoriser.

La valorisation peut permettre dans le domaine technique la préconisation d’un éventuel modèle adapté pour résoudre les problèmes des périmètres irrigués et la création de nouvelle Oasis dans les zones arides. Par contre dans le domaine touristique cette valorisation permet de le traiter comme un atout d’attraction.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Bakhada R. (2009) : Système d’irrigation ksar de Boukaïs. Revue « *ALATAR* » n°4, direction de la culture, Bechar, Algérie, pp. 112-124.

-Briot JPD. (1990) : « As rodas de rio fr Onor : Um pricipo estructural et estructurante ». Analise social, 108-109.III série, vol XXV, pp.511-543.

-Briot, JPD. (1996) : Retrato de aldeia com Espelbo. Ensaio sobre Rio de Onor, Ed Dom Quixote, col « Portugal de Perto » n° 34. Lisboa.

-Cressier P. (2006) : Géométrie des réseaux et marqueurs des territoires : l’image du partage de l’eau dans le paysage médiéval (Espagne et Maroc). Mélanges de la Casa de Velázquez. Le partage de l’eau (Espagne, Portugal, Maroc). 36, pp 39-59.

-DPAT Béchar (2007) : Monographie de la wilaya de Bechar.

-Dubief J. (1959) : Le climat du Sahara ; Inst de Recherches sahariennes, Alger**.**

-Idrotecnica (1976) : Etude hydrogéologique de la région de Bechar. ORGM. 91p.

-Madani T. (2006) : Le partage de l’eau dans l’Oasis de Figuig (Maroc oriental) : Approche historique et archéologique. Mélanges de la Casa de Velázquez. Le partage de l’eau (Espagne, Portugal, Maroc).pp 61-81.

-Wateau F. (2001) : Objet et ordre social : d’une canne de roseau à mesurer l’eau aux principes de fonctionnement d’une société rurale »Terrain, 37, Paris, pp. 153-161.

-Wateau F. (2004) : La pierre de partage de l’eau. Objet de mesure du temps et de l’espace. 129^{e} congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Besançon, France, pp. 27-39.

-Wateau F. (2006) : Mesure et société : trois instruments pour ordonner l’irrigation. Cahiers de métrologie 45-60.

Analyses spatiales et multicritères pour la classification des sites de recharge de nappes par les eaux usées traitées : Application à la nappe de Nabeul - Hammamet

Gdoura Khadija, Anane Makram*, Jellali Salah
Laboratoire de traitement des eaux usées, Centre de Recherches et Technologies des Eaux, Technopole de Borj Cédria
kgdoura1@gmail.com, makram.anane@certe.rnrt.tn, salah.jallali@certe.rnrt.tn

RESUME
La réutilisation des eaux usées traitées dans un but de recharger des aquifères dans les zones arides et semi-arides contribue de façon significative à réduire la pression croissante sur les eaux conventionnelles. L’objectif de ce travail de recherche est d’élaborer une méthodologie pour la localisation et le classement des sites favorables à la recharge des nappes phréatiques par les eaux usées traitées. Celle-ci se base sur la combinaison des techniques géo-spatiales avec celles d’analyses multicritères. Plusieurs critères d’aspects techniques, environnementaux, sociaux et économiques ont été identifiés, spatialisés, pondérés par comparaison par pair et normalisés selon des fonctions de logique floue. La carte finale qui classe les sites favorables dans la région de Nabeul-Hammamet a été obtenue par une combinaison linéaire pondérée des critères normalisés. La superficie totale favorable à la recharge de cette nappe par les eaux usées traitées dépasse de loin celle théoriquement nécessaire pour faire infiltrer la totalité des effluents des stations d’épuration existantes dans la région. Cette superficie se situe principalement au bord de la mer au Sud- Est de Hammamet, autour du Grand-Nabeul, dans certains domaines agricoles et au niveau des dunes côtières. Les sites les plus adaptés sont localisés près de Nabeul dans des zones agricoles. Une étude hydrodynamique détaillée de la zone non saturée et saturée sur ces sites est nécessaire pour évaluer quantitativement et qualitativement l’impact de cette recharge sur la nappe.
Mots clés: AHP, Analyse multicritère, Eaux usées, Nabeul-Hammamet, Recharge des nappes, SIG.

SUMMARY
The reuse of treated wastewater in arid and semi-arid areas to recharge aquifers contributes to decrease the pressure on conventional water. This paper aims to develop a methodology to locate and rank suitable sites for groundwater recharge with treated wastewater using fuzzy-AHP based on GIS, where the Nabeul-Hammamet aquifer catchment (Tunisia) is selected as the target area. Several influential parameters are identified considering simultaneously technical, social, economical and environmental aspects. These parameters are weighted using pair-wise matrix, layered using geo-spatial techniques and then standardized using fuzzy functions. The final map is obtained by a weighted linear combination of the standardized parameters. The results show that the total suitable area covers 3500 ha which represents 29% of the total Nabeul-Hammamet aquifer area. This constitutes quite a large zone that can absorb the entire volume of available treated wastewater. The best sites to receive the surplus amount of TWW, produced by the treatment plants of the region, are located near these plants and inside agricultural lands. A detailed hydrodynamic study of the non-saturated and saturated zone is necessary to know quantitatively and qualitatively the impact of this charge on groundwater.
Key words: AHP, GIS, Groundwater recharges, Multi-criteria analysis, Nabeul-Hammamet, Wastewater.

1. INTRODUCTION

La Tunisie est confrontée à la fois à la rareté et la mauvaise répartition de ses ressources en eaux. En effet, avec un niveau de ressources renouvelables disponibles par habitant ne dépassant guère 480 m^3/habitant/an (Ennabli, 2005), la Tunisie est considérée comme étant un pays en stress hydrique. La réutilisation des eaux usées traitées (EUT) est considérée comme étant une solution d’urgencepour répondre à une partie des besoins en eau qui ne cessent d’augmenter. Cependant seulement 28% du volume annuel total d’EUT produit en 2010 à partir des 109 stations d’épurations est réutilisé (ONAS, 2011). La réutilisation des EUT concerne principalement l’irrigation. La recharge artificielle des nappes en Tunisie ne se fait qu’au niveau des sites pilotes situés dans la côte Est de la péninsule du Cap Bon. Dans un futur proche on prétend passer à échelle réelle et répandre cette technique à tout le territoire tunisien.

Un choix approprié des sites favorables à la réutilisation des EUT pour la recharge artificielle des nappes, requiert une combinaison des outils et des méthodes qui intègrent d’un coté la composante géographique pour la gestion des données spatiales, en l’occurrence les Systèmes d’Information Géographique (SIG), et de l’autre coté des techniques de l’analyse multicritères pour l’aide à la décision (MCDA). La MCDA combine les critères, économiques, sociaux, environnementaux et techniques et les pondèrent en fonction de leurs importances à l’objectif escompté ou à l’allocation du terrain voulue. Les SIG analysent et traitent spatialement ces critères et permettent d’obtenir des cartes en fonction des objectifs (Engel et al., 2003). Cette combinaison aboutit à une sélection et un classement des meilleurs sites favorables à l’allocation du terrain voulue. Plusieurs travaux concernant différentes applications de cette méthodologie ont été réalisés tels que la sélection des zones de décharges des déchets solides (Nouri et al., 2011), des aéroports (Ding et al., 2011). Il existe plusieurs méthodes de MCDA tels que ELECTRE, PROMETHEE, AHP, TOPSIS, AIM (Gilliam et al. 2005; Gomez et Barredo, 2005; Zhong-Wu et al. 2006). Cependant, peu d’entre elles peuvent s’intégrer dans un SIG (Gomez et Barredo, 2005; Marinoni, 2004), dont l’Analytic Hierarchy Process (AHP) qui est la plus utilisée. Malgré cette multitude d’applications, un manque énorme se fait sentir concernant la localisation des sites favorables pour la réutilisation des EUT pour la recharge artificielle des nappes.
L’objectif que nous avons tenté de développer au cours de ce travail est d’élaborer une méthodologie innovante pour un choix adéquat de sites favorables à la mise en place du bassin d’infiltration-percolation d’EUT en vue de la recharge des nappes. Une méthode d’analyse multicritère qui est l’AHP couplé aux SIG a été élaborée.

2. METHODOLOGIE

2.1. Description de la zone d’étude

La nappe phréatique de Nabeul-Hammamet appartient à la péninsule du « Cap bon » au Nord Est de la Tunisie. Ce site couvre une superficie totale de 290 km^2 avec une longueur de 34 km et une largeur qui varie de 8 à 14 km (Figure 1). Le climat est semi aride avec une température moyenne de 19°C et une pluviométrie moyenne annuelle de 400 mm. L’altitude varie entre 0 et 500 m et la profondeur de la nappe varie entre 4 et 31 m. Les principales activités de la région sont le tourisme et l’agriculture.

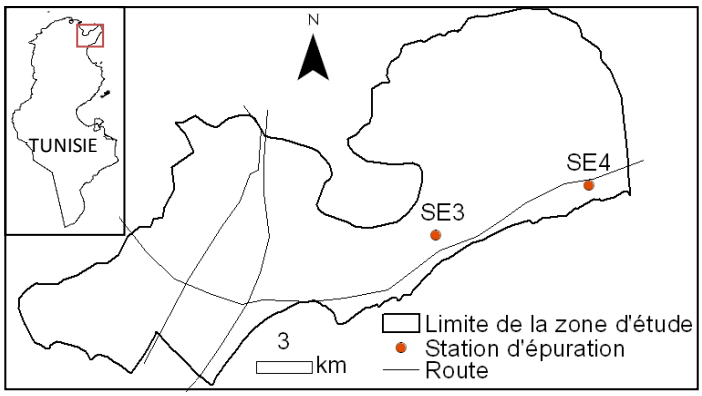


Figure 1. Délimitation de la nappe phréatique de Nabeul Hammamet

Deux stations d’épuration des eaux usées (SE3 et SE4) sont actuellement en fonctionnement dans la zone d’étude. Des travaux sont en cours dans la station SE4 afin d’augmenter sa capacité de traitement et d’améliorer la qualité des eaux usées traitées. Un traitement tertiaire est programmé moyennant des lampes UV et un filtre à sable (ONAS, communication personnelle, 2012). Le CRDA-Nabeul prévoit que l’eau traitée à l’horizon de 2025 sera de l’ordre de 4.8 Mm^3/an (CRDA, 2008).

2.2. Description de la méthodologie

Afin de localiser les meilleurs sites favorables à l’installation des bassins d’infiltration-percolation pour infiltrer les 4.8 Mm^3/an produites des stations SE3 et SE4, la méthode d’analyse multicritère (AHP) combinée avec les SIG a été utilisée. La méthodologie englobe les étapes suivantes :

2.2.1. Identification des contraintes

Le choix des ces contraintes et les limites d’aptitudes pour délimiter les zones favorables à la recharge de la nappe phréatique de Nabeul-Hammamet par les EUT a été fait selon la bibliographie (Kallali et al. 2007 ; Anane et al. 2008 ; Pedrero et al. 2011 ; Rahman et al. 2012; Rahman et al. 2013) et à partir de la consultation des experts. Ces contraintes et les limites d’aptitudes sont : Profondeur de la zone non saturée (> 5m) ; pente (<12%) ; texture du sol (<10% d’argile) ; géologie (exclusion des argiles, grès et calcaire) ; éloignement des lacs et barrages collinaires (>500m) ; éloignement des zones résidentielles (>200 m) et éloignement des routes (<50m).

2.2.2. Structure hiérarchique et pondération des critères et sous critères

La structure hiérarchique consiste à organiser le problème décisionnel à traiter en plusieurs niveaux. Dans notre étude de cas, trois niveaux ont été établis (Figure 2). Le premier défini l’objectif de l’étude qui est de classer les sites potentiels aux bassins d’infiltration-percolation. Le deuxième niveau donne les critères et le dernier niveau détaille les sous-critères qui en sont dérivés.

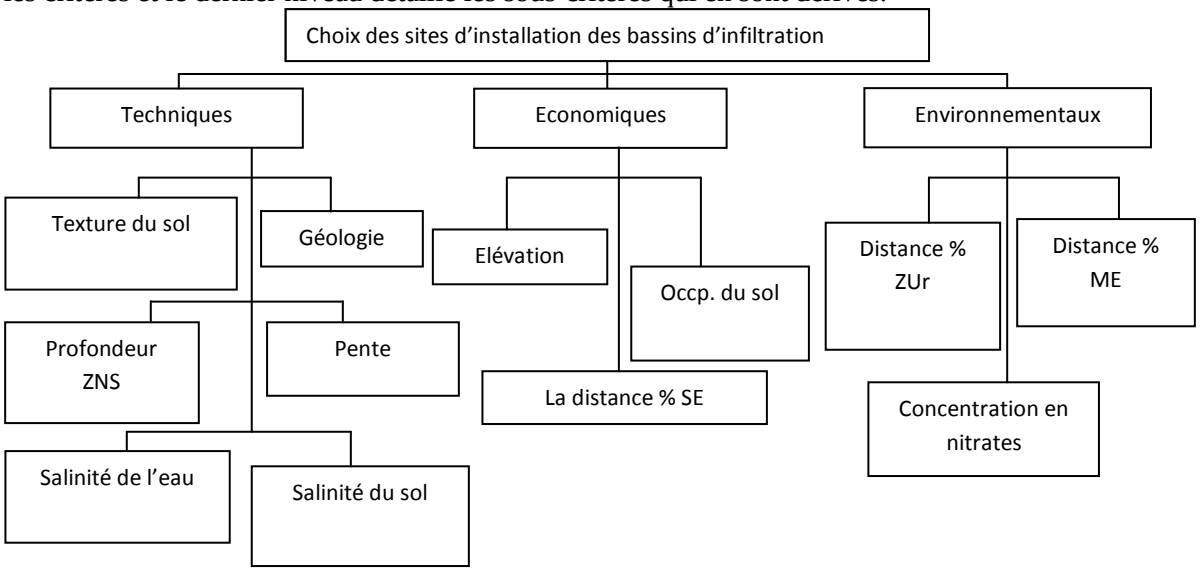


Figure 2. Représentation graphique de la structuration hiérarchique

Trois critères ont été sélectionnés pour classer les sites favorables à l’irrigation par les eaux usées, qui sont les critères techniques, économiques et environnementaux. De chaque critère dérive de 3 à 6 sous-critères (Figure 2). Ces critères et sous critères ont été choisis de la bibliographie (Kallali et al., 2007 ; Anane et al., 2008 ; Pedrero et al., 2011 ; Rahman et al., 2012; Rahman et al., 2013) et à partir de la consultation des experts.

Afin de classer l’aptitude d’un site à une telle activité, un poids est attribué à chaque sous-critère. La pondération exprime l’importance d’un critère par rapport aux autres relatives à l’activité en question. Le processus de pondération est réalisé à travers une matrice de comparaison par paires entre les éléments de chaque niveau de la hiérarchie (Saaty, 1980).

La pondération finale de chaque sous-critère est le résultat de la multiplication des poids obtenus des sous-critères et critères des niveaux supérieurs de la structure hiérarchique (Tableau 1).

Tableau 1. Poids de la hiérarchie pour les sites potentiels aux bassins d’infiltration-percolation

Critère		**Sous critère** k	**Poids locaux**	**Poids globaux** p_k
Techniques	0.33	Texture du sol	0.269	0.089
		Géologie	0.269	0.089
		Profondeur ZNS	0.269	0.089
		Salinité du sol	0.077	0.025
		Salinité de l’eau	0.077	0.025

		Pente	0.036	0.012
Economiques	0.33	Elévation	0.571	0.188
		Distance % SE	0.285	0.094
		Occupation des sols	0.142	0.047
Environnementaux	0.33	Distance% ZUr	0.623	0.206
		Distance % ME	0.238	0.079
		Concentrations en nitrates	0.137	0.045

2.2.3. Spatialisation des sous-critères et contraintes par les SIG

Des données spatiales et sémantiques ont été collectées des différentes institutions compétentes (CRDA ; ministère d’agriculture ; office national de métrologie …) et des images de satellites (Landsat SAT ; SRTM…) sur la zone d’étude ont été téléchargées du web. Les sous-critères ont été dérivés et spatialisés par des techniques d’analyse géo-spatiale.

2.2.4. Normalisation des sous-critères

Le classement des sites potentielles aux bassins d’infiltration-percolation requiert l’agrégation des données de différents types (qualitatives et quantitatives), formes (continues et discrets), et unités de mesures (m ; dS/cm, %…). Afin de pouvoir combiner ces sous-critères, il est crucial de normaliser ces valeurs en les attribuant à un domaine de mesure unique. Dans ce travail nous avons choisi le domaine [0 – 1] en utilisant des fonctions d’appartenance à la logique floue ; 0 est attribué aux zones les moins favorables aux bassins d’infiltration-percolation et 1 aux sites les plus favorables. La fonction appliquée diffère selon la forme continue (pente, profondeur de la nappe…) ou discrète (occupation du sol, …) des valeurs. Pour les sous-critères de forme discrète le processus a été réalisé sur plusieurs étapes. Les classes ont été regroupées selon leur capacité d’installer les bassins d’infiltration-percolation et puis un poids est attribué à chaque classe selon la matrice de Saaty (Gomez et Barredo, 2005).

2.2.5. Calcul de l’indice décisionnel

Le classement des zones favorables aux bassins d’infiltration-percolation est obtenu par la combinaison linéaire pondérée des couches spatiales des sous-critères normalisées. Les valeurs obtenues varient entre 0 et 1 où 0 est la valeur correspondante à la zone la moins favorable et 1 est la valeur relative à la zone la plus favorable.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Identification des sites favorables

L’analyse multicritère a permis d’identifier une surface favorable aux bassins de recharge de 3500 ha, qui représente environ 29% de la totalité de la surface de la nappe phréatique de Nabeul-Hammamet. Cette surface est assez importante et permettrait d’absorber toute la quantité d’eau usée produite. Elle est formée d’enclaves qui varient entre moins d’un hectare et plus de 100 ha.

Les contraintes les plus restrictives sont la géologie et la texture du sol. La surface totale favorable obéissant à ces deux contraintes représente aux alentours de 55 et 60% respectivement. L’éloignement des lacs et des barrages collinaires et l’épaisseur de la zone non saturée sont les contraintes les moins restrictives avec une surface favorable de 95% et 92% respectivement. La localisation des zones potentielles pour chaque contrainte ainsi que la carte récapitulative des zones de recharge sont données par la Figure 3.

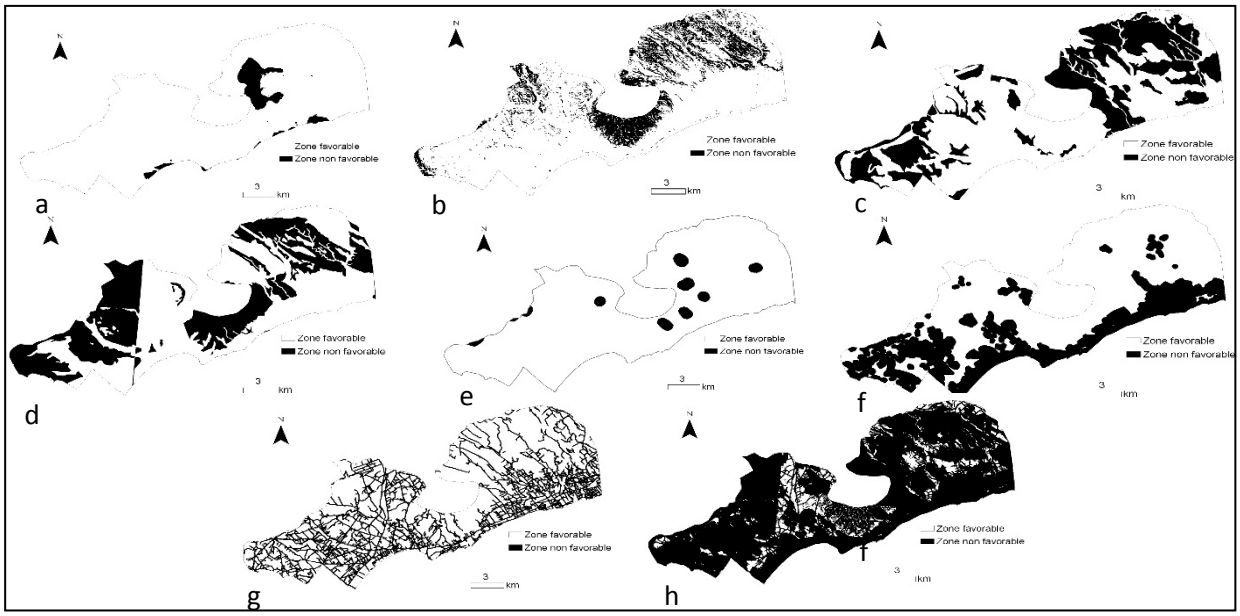


Figure 3. Sites favorables à la recharge de la nappe par les EUT selon les contraintes a) profondeur de la zone non saturée, b) pente, c) texture du sol, d) géologie, e) zone tampon des masses d’eaux, f) zone tampon des zones urbaines, g) zones des limites routières, h) superposition de toutes les contraintes.

3.2. Classement des zones favorables

Les valeurs de la combinaison linéaire pondérée utilisée pour classer les 35000 ha favorables à la recharge de la nappe par les EUT varient de 0 à 0.57 pour SE3 et de 0 à 0.54 pour SE4 (Figure 4).

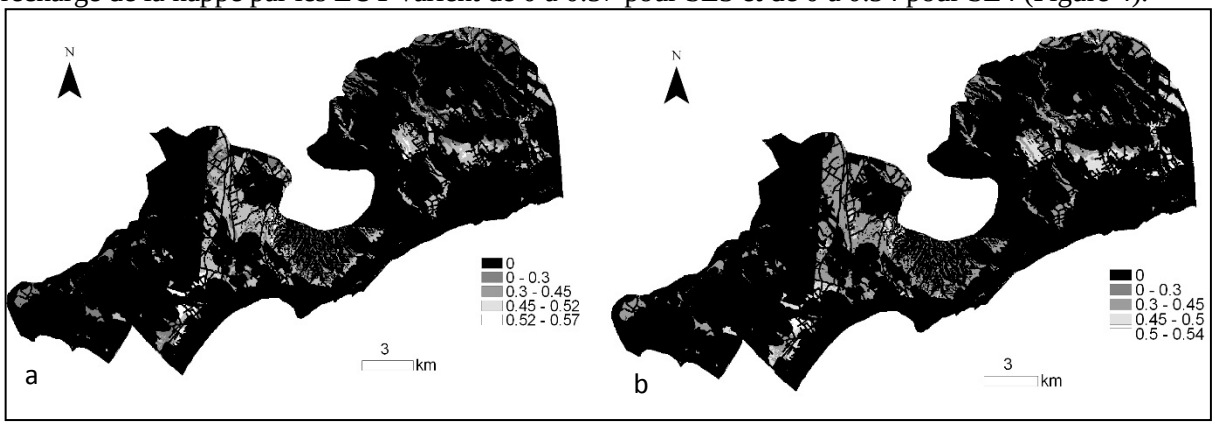


Figure 4. Classement des sites favorables aux bassins d’infiltration percolation par rapport aux STEPs existantes a) SE3, b) SE4

Les sites les plus adaptés se trouvent au Nord Ouest de la ville de Nabeul pour la station SE4 et au Nord Ouest et au Sud Est de la ville de Nabeul pour la station de SE3. La zone la plus lointaine de SE3 est distante de 15 km et celle la plus proche est distante de 0,4 km, alors que la zone la plus lointaine de SE4 est distante de 8,67 km et celle la plus proche est distante de 1,37 km. Elles sont éloignées des zones résidentielles d’au minimum 200 m et au maximum de 1,5 km. Elles sont situées dans des zones agricoles occupées par des oliviers et des céréales et près de deux périmètres l’un est irrigué par des eaux conventionnelles et l’autre par des eaux usées traitées. Elles sont localisées dans des zones où la profondeur de la zone non saturée est moyennement profonde (entre 5 et 31 m). Le sol est non salin. La salinité de l’eau est assez faible, elle varie entre 1,2 et 2,31 g/l et dont l’accès par réseau routier est facile. La vulnérabilité de la nappe à ces sites est donc relativement faible.

4. CONCLUSIONS

La méthodologie élaborée, qui a intégré l’AHP et les SIG, a permis d’obtenir une couche spatiale finale qui localise et classifie les sites selon l’aptitude à recevoir de l’eau usée pour la recharge de la

nappe. Les sept contraintes choisies pour exclure de l’analyse des zones défavorables pour la recharge de la nappe par les EUT sont la profondeur de la zone non saturée, pente, texture du sol, géologie, éloignement des lacs et des barrages collinaires, éloignement des zones résidentielles et éloignement des routes. La combinaison de ces contraintes révèle que 29% de la surface de la nappe phréatique de Nabeul-Hammamet est favorable à la recharge de la nappe par les eaux usées. Cette superficie dépasse de loin le terrain nécessaire pour couvrir la totalité des effluents des stations d’épurations situées dans la zone. Le classement de ces sites favorables en intégrant plusieurs critères d’ordre technique, économique et environnemental montre que les plus adaptés se trouvent au Nord Ouest de la ville de Nabeul pour la station SE4 et au Nord Ouest et au Sud Est de la ville de Nabeul pour la station de SE3. Ce travail constitue une aide technique pour les décideurs en vue d’une meilleure gestion intégrée des eaux au niveau du bassin versant de la nappe phréatique de Nabeul Hammamet.

REFERENCES BIBLIOGRQPHIQUES

-Anane M., Kallali H. et Jellali S. (2008) : GIS and AHP-multicriteria decision analysis, Int. J. Water, Vol. 4, Nos, *Ranking suitable sites for Soil Aquifer Treatment in Jerba Island (Tunisia) using remote sensing*, ½, P 121-135.

-CRDA (2008) : Etude de la gestion intégrée des ressources hydrauliques de Cap Bon. Phase II : Elaboration des scenarios de développement. Rapport général. BICHE.

-Ding D, Cai L, Wang X, Shao B, Zheng Y. (2011) : Applied Mechanics and Materials; *Application of comprehensive evaluation of the airport site selection*. 97-98: 311-315.

-Engel BA, Navulur KCS, Cooper BS, Hahn L. (1996) : Journal of the International Association of Hydrological Sciences; *Estimating groundwater vulnerability to non-point source pollution from nitrates and pesticides on a regional scale*. 235: 521–526.

-Ennabli M. (2005) : Sciences et Technologies à membranes, 22-24 Septembre 2005, Monastir, Tunisie, *Le problème de l’eau dans les pays du sud de la méditerranée," 2ème Ecole d’été Franco-Maghrébine.*

-Gilliams S, Raymaekers D, Muys B, Van Orshoven J. (2005) : Computers and Electronics in Agriculture, *Comparing multiple criteria decision methods to extend a geographical information system on afforestation*, 49: 142-158.

-Gomez M, Barredo JL. (2005) : 2nd edition. RA-MA edition, *Sistemas de Informacion Geografica y Evaluacion Multicriterio en la Ordenacion del Territorio*.

-Kallali H., Anane M., Jellali S., Tarhouni J. (2007) : Dessalination 215 (2007), *Gis based multi criteria analysis for potential wastewater aquifer recharge sites* ,P 111-119.

-Marinoni O. (2004) : Computers and Geosciences; *Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS’*, 30: 637-646.

-Nouri N, Poorhashemi S.A., Monavari S.M., Dabiri F., Hassani A.H. (2011) . International Journal of Environmental Research; *Legal criteria and executive standards of solid waste disposal subjected to solid waste management act*. 5: 971-980.

-ONAS. (2011) : Rapport annuel 2010. [http://www.onas.nat .tn/Fr/upload/ telecharge-ment/ telechargement99.pdf]. Last access, June 2012.

-Rahman M.A., Rusteberg.B., Salah Uddin M., Lutz A.,Abu Saada M., Sauter M. (2013) : Journal of Environmental Management 124, *An integrated study of spatial multicriteria analysis and mathematical modeling for managed aquifer recharge site suitability mapping and site ranking at Northern Gaza coastal aquifer*, P 25 e39

-Ribeiro P, Albuquerque A, Quinta-Nova L, Cavaleiro V, Resources, Conservation & Recycling (2010) : *Recycling of pulp mill sludge to improve soil fertility using GIS tools*, 54:1303–11.

-Saaty, T.L. (1980) : McGraw-Hill, New York, The Analytic Hierarchy Process.

Relationship between electromagnetic induction measurements with an EM38 and soil water content across Lebna catchment

Insaf Mekki[a], Zeineb Jaiez[a,b]
[a]Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts (INRGREF), B.P. 10, 2080 Ariana, Tunisia
[b]Institut National Agronomique de Tunisie (INAT), 43, Avenue Charles Nicolle, 1080, Tunis, Tunisia

SUMMARY
Apparent electrical conductivity (ECa) of the soil profile can be used as an indirect indicator of a number of soil physical and chemical properties without destructive sampling and with high spatial coverage. The EM38 (Geonics Ltd., Ontario, Canada) electromagnetic induction sensor is usually used for mapping soil salinity. The objective of this study is to primary characterize the response of electromagnetic induction to soil water content (SWC) at dry and saturation conditions in a hilly landscape. ECa and SWC were measured at different locations throughout the Lebna catchment under dry (October 2012) and wet (February 2013) conditions to represent the major soil association, land use and topographic attributes. ECa measurements were collected raising the EM38 to sample at various depths of the soil. The EM38 was placed in both horizontal and vertical dipole modes on a PVC stand 150 cm above the soil surface. Gravimetric soil water content was measured simultaneously on all samples. Results showed substantial changes in the ECa as SWC changed. We tested a possible relationship between ECa in the vertical and horizontal mode and SWC over the range of measured SWC. Linear regression was tested to predict SWC from ECa measurements as a potential rapid and non-invasive method for routine soil moisture measurements.
Keywords: Soil water content, apparent electrical conductivity, spatial variability.

RESUME
La conductivité électrique apparente (ECa) du profile du sol peut être utilisée comme un indicateur des propriétés physique et chimique des sols. Il s’agit d’une méthode non destructive et avec une très haute résolution spatiale. Le conductivimètre électromagnétique EM38 (Geonics Ltd., Ontario, Canada) est souvent utilisé pour la cartographie de la salinité des sols. L’objectif de cette étude est de caractériser la réponse de l’induction magnétique à la teneur des sols (SWC) dans les conditions de sols en sec et à saturation dans une zone collinaire. L’humidité du sol a été mesurée à l’aide de la méthode gravimétrique. ECa et SWC ont été mesurées en octobre 2012 et en février 2013 aux mêmes emplacements représentant la variabilité des sols, l’occupation des sols et la topographie sur le bassin versant de Lebna. L'EM38 a été utilisé en modes horizontal est vertical. La conductivité électrique du sol en place a été mesurée sur diverses profondeurs et emplacements. Les résultats ont montré des changements substantiels de l'ECa en fonction de l’humidité des sols. La teneur en eau du sol varie de 7.5% à 44.9% et de 21.1% a 62.4% de en saison sèche et humide, respectivement. La conductivité électrique apparente du sol oscille de 6.1 à 72 mS/m. Nous avons testé une relation empirique entre les mesures ECa relevées avec l’EM38 en mode vertical et horizontal et SWC sur la gamme de SWC mesurée. La régression linéaire a été testée pour prédire SWC à partir des mesures ECa. Il existe une corrélation significative ($r^2 = 0.74$) entre les variables mesurées.
Mots clés: Humidité des sols, conductivité électrique apparente, variabilité spatiale.

1. INTRODUCTION
Knowledge and understanding of the spatiotemporal variability of soil water content at the field or catchment scale are important for assessing the water balance dynamics, agricultural production and environmental performances. It is important to investigate the changes of soil water content over rainfed cultivated catchment and develop a reliable means for its estimation. Spatial measurement of the apparent electrical conductivity (ECa) has been reported as a potential measurement for predicting variation in crop production caused by soil water differences (Heermann et al., 2000). The apparent electric conductivity measurements depend on numerous factors, including soil texture, soil salinity, soil water content and soil bulk density. Key measures of success were the ease and quality of calibration, calibration quality at a range of soil depths, and ease of use. Electronic induction has been used mainly for salinity mapping (Kachanosky et al. 1988). It represents a fast non-contacting method

to get possibly information about the field heterogeneity of soil texture and water content. Since dry soil is a poor conductor, the value of ECa is a reflection of the volumetric soil water content, the concentration of dissolved electrolytes in the soil water, and the type and amount of clay in the soil (McNeill 1980; Rhoades and Corwin, 1981). Soil water content is still considered to be the single most important of the four commonly cited factors (soluble salts, clay content and mineralogy, soil water content and soil temperature) affecting ECa (Brevik and Fenton, 2002). Despite conflicting reports, ECa has been found to be linearly related with soil moisture content in recent studies (Brevik et al., 2006, Tromp-van Meerveld and McDonnell, 2009). If temperature is relatively constant, or accounted for, and the change in salinity is not great, a site-specific relationship between ECa and water content can be found (Akbar et al. 2005; Huth and Poulton 2007). Kachanoski et al. (1988) found that ECa explained 96% of the spatial variation in water content in the upper 0.5 m of the profile of a 1.8 ha field. The purpose of this study is to better understand the contribution of water content to the apparent electrical conductivity variability. Calibration work was performed on Lebna catchment, and a survey was conducted in two different time frames at different degrees of soil moisture. The objective is to further develop the application of electromagnetic induction in the horizontal and vertical mode to monitor the soil water content.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study site

The investigations were carried out on Lebna catchment, Cap Bon Tunisia. This site is part of on-going mutidisciplinary projects (Mistrals, JEAI-AIRD program). The landscape of Lebna is carcaterized by small valleys that are surrounded by steep hills (IAO, 2002). The hilly zone represents the central and widest landscape system of the central part of the study area. In terms of soil the study site is covered by Inceptisols over marls with vertic characteristics, Alfisols on the sandstone rock outcrops, Entisols on the eroded zones, and Vertisols which are the soils of the depressions, constituting mostly deep soils with a high percentage of clay and big cracks in dry season. The variability in topography and soils affect the land use: grazing on the areas covered by herbaceous and shrubs on the slopes, rainfed crops (e.g., wheat, barley, fababean, chickpea, and olive trees) on the accumulation slopes, and irrigated systems (e.g., tomato, pepper crops) on flat and hilly plains. The climate of Lebna is typical Mediterranean, characterised by mild winters and dry summers and ranging from semi-arid to sub-humid in relation to the topography and its proximity to the Mediterranean Sea.

2.2. Measurements and data collection

On the Lebna catchment 70 points representing the range of soil texture, topography and land use were chosen for an extensive soil sampling in 0-100 cm soil depths in 0.2 m increments. Soil texture were described by the IAO (Instituto Agronomico per l'Oltremare) 20th course professional master “remote sensing and natural resources evaluation” field survey staff from 2 to 28 April 2000 according to the IAO framework (IAO, 2002). The measurements were performed in two different time frames at different degrees of soil water saturation: The first dataset was collected in October 2012 (38 samples) and the second dataset in February 2013 (70 samples). Soil samples were taken with an auger. Gravimetric water content was obtained by weighing before and after oven-drying at 105 °C. The soil solution salinity was approximated by measuring the electircal conductivity in a 1:5 dry soil/water solution extract. Gravimetric results were also converted to volumetric values based on detailed soil mapping at selected sites. Measurements of the apparent electircal conductivity were performed with an EM 38 (Geonics Limited, Mississauga, Ontario) in the vertical and horizontal mode. Details of the method are described in other studies (McNeil 1980). The EM38 was operated to obtain both vertical and horizontal, with the instrument raised to different height above the ground on a PVC stand. It displays units of the apparent electrical conductivity (ECa, mS/m). EM38 rising reduces the depth of soil moisture measurement (Rhoades and Corwin 1981). The EM38 instrument zero and in-phase null were calibrated at each location prior to data collection. Data for soil temperature are not available, we assumed that subsoil temperatures were relatively constant and the ECa data were not corrected for soil temperature.

2.3. Data analysis

Soil water content measurements, soil ECa and soil properties were examined for possible correlations. Analysis was conducted for the two soil depths and datasets. Descriptive statistics of the temporal variability of measured water content and soil ECa for each depth were summarized and compared. Pearson linear correlation analysis for soil ECa and soil properties were performed using the cor.test in R package. The relationships between SWC and ECa were investigated using linear regression analysis with the R program and were expressed as coefficients of determination (r^2). Soil moisture at each sampling depth was regressed against ECa.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Exploratory analysis

A summary of ECa and SWC mean, minimum, maximum, standard deviation, and coefficient of variation from the various surveys is displayed in Table 1. Measurements of the apparent electrical conductivity in the horizontal and vertical mode from the dry and wet seasons surveys correlated strongly (r^2= 0.95) with each other. Electrical conductivity measurements tended to vary throughout all surveys. Conductivity readings from the horizontal dipole frequency tended to be lower than those of the vertical dipole orientation of the same frequency for the EM38 sensor. In the dry season (October), the mean soil moisture was 22.6% with a minimum value of volumetric water content of 7.5 % and a maximum of 44.9 % of SWC. During the rainy season (February), the mean soil moisture reached 32.9% with a minimum value of volumetric water content of 21.1% and a maximum of 62.4% of SWC. For 0-20 cm depth, the values of gravimetric water contents varied between 7.5% to 30.1%, and 18.9-30.1%, for the dry and wet seasons respectively.

Table 4. Summary of ECa of the soil measured in the vertical (EMv) and Horizontal (EMh) modes and SWC measurements from the dry and wet season surveys

	Mean		Minimum		Maximum		Std deviation		CV	
	dry	wet	dry	wet	dry	wet	dry	wet	dry	wet
ECa-H	22.3	27.3	8.5	6.6	40.2	72.7	9.4	15.3	0.42	0.56
ECa-V	25.0	34.7	9.5	10.5	44.1	62.4	9.3	12.7	0.37	0.37
$SWC(\%)_{0\text{-}0.2m}$	18.9	35.5	7.5	18.9	30.1	54.1	5.2	10.7	0.28	0.30
$SWC(\%)_{0\text{-}1m}$	23.3	35.5	9.3	18.9	35.9	54.1	5.2	10.7	0.22	0.30

SWC averaged over 0-100 cm soil depth were best correlated (r^2 = 0.74) to ECa measured in the vertical mode in February 2013 (Table 2). Results were considerably better than for the horizontal mode in the dry season (r^2 = 0.62). Correlation results between soil ECa, clay, silt and sand content and the electrical conductivity of the soil solution were found to be non-significant. The variability in ECa with clay content and soil solution salinity is of secondary importance the predicted water content values at the Lebna site. On this site the range varied between 0.9 to 2.3 mS cm-1, Better relationships are to be expected if the range includes higher salinity values. This study confirms the findings of others who have observed a significant response of ECa to soil moisture (Kachanosky et al. 1988; Brevik and Fenton, 2002; Reedy and Scanlon, 2003; Akbar et al. 2005; Brevik et al., 2006; Huth and Poulton 2007).

Table 2. Correlation (r^2) between the apparent electrical conductivity of the soil measured in the vertical (EM-V) and Horizontal (EM-H) mode by EM38 and various topographic and soil parameters.

	Sand	Silt	Clay	EC1:5(mS/m)	$SWC(\%)_{0\text{-}1m}$	$SWC(\%)_{0\text{-}0.2m}$
ECa-H (mS/m) $_{0\text{-}0.2m}$	-0.31	0.17	0.28	0.09	0.62^{**}	0.60^{**}
ECa-V (mS/m) $_{0\text{-}1m}$	-0.27	0.10	0.30	0.46	0.74^{**}	0.71^{**}

*** Significant at p<0.05.*

3.2. Regression analysis

Figure 1 shows the relationship between SWC and ECa measured with the EM38 used in the vertical and horizontal mode. The regression data are shown in Table 3. Soil moisture at each sampling depth was regressed against ECa. Coefficients of determination (r^2) for linear regression model between ECa and soil moisture were calculated. ECa was significantly positively correlated with SWC and the

correlation values were higher in deeper sampling depths (Figure 2). The correlation r² varied from 0.2 to 0.7; and were also significant (Table 2). Soil ECa is related to measured SWC so that the regression equations are available to predict soil moisture for each soil ECa value.

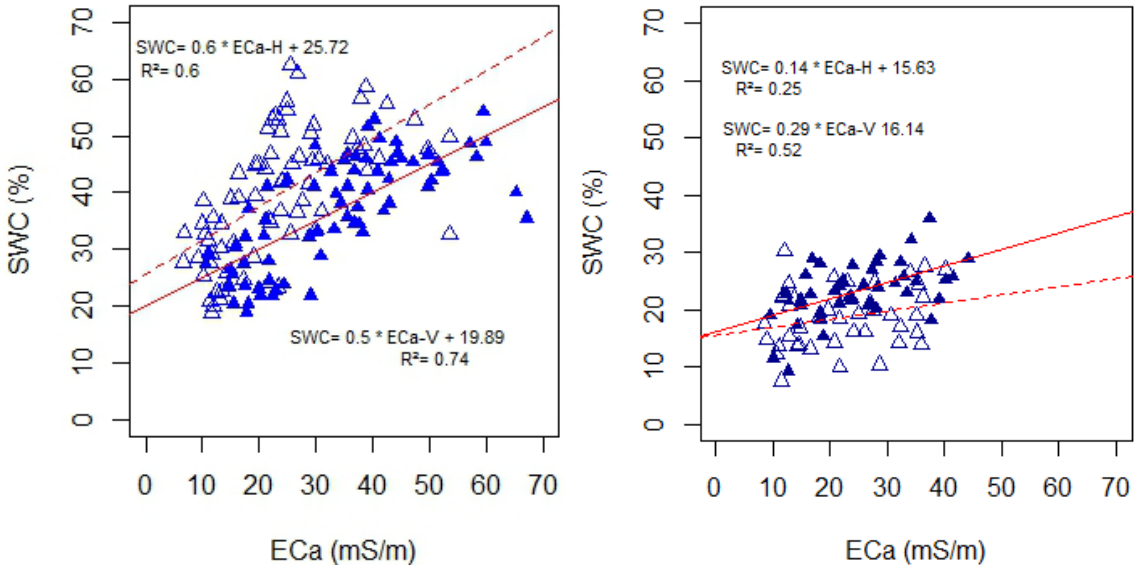


Figure 1. Relationship between the SWC and ECa EM38 for the horizontal (ECa-H) and the vertical mode (ECa-V) wet season (on the left) and dry season (on the right).

The relationship of soil ECa to soil moisture reflects the major influence of moisture on soil ECa (Hedley et al., 2004; Sudduth et al., 2005); the soil providing more conducting pathways for the electric current induced by the EM38 sensor as soil moisture content increases. The SWC over the 0- to 100 cm depth were more accurately predicted than over the 0- to 20 cm depth. Within the observed range, volumetric water content over the 0-1m depth are predicted with a standard error of 0.08 and 0.05 for the dry and wet season respectively. The standard error values are larger for the 0- to 0.2m - depth interval with values of 0.09 and 0.09 for volumetric water content for the dry and wet season respectively. These results might be influenced by the range of variation and the number of sampling. The number of investigated points varied between n=70 to n=38. This variation is probably also attributed to several possible factors, including the heterogeneity of the land cover and the soil surface patterns. In higher positions, there may have been slightly reduced sensitivity (increased the slope of the relationship).We note that measuring surface soil moisture is often difficult.

Table 3. Regression coefficients (r²) and parameters of the linear regression analysis among the SWC (%) and ECa (mS/m) measured by an EM38, a is the intercept, b is the slope and SE is the standard error

EM 38operation modes		**a (%)**	**b (%/mS/m)**	**r²**	**SE (%)**
Horizontal	wet	25.7	0.60	0.60	9.1
(0-20cm	dry	15.6	0.14	0.25	9.0
Vertical	wet	19.9	0.50	0.74	5.0
(0-100cm)	dry	16.1	0.29	0.52	8.1

A comparable goodness of fit was found for the water content in 0-100 m soil depth in Lebna in February 2013 and in October 2012 (r^2 = 0.74 and 0.52), and in Kamech in February 2013 and in October 2012 (r^2 = 0.60 and 0.52). Figures 2 and 3 show the measured SWC plotted against the predicted values for the rainy and dry seasons. The plot suggested that the model simulated reasonably the soil water contents. Therefore, due to the heterogeneity of the study site and the complexity of the interpretation of the interrelationship between spatial ECa measurements, probably the model requires more calibration to achieve sufficient accuracy and precision. We believe that the variability is in part due to the difference in measurement volume between the soil moisture measurements made with the EM38.

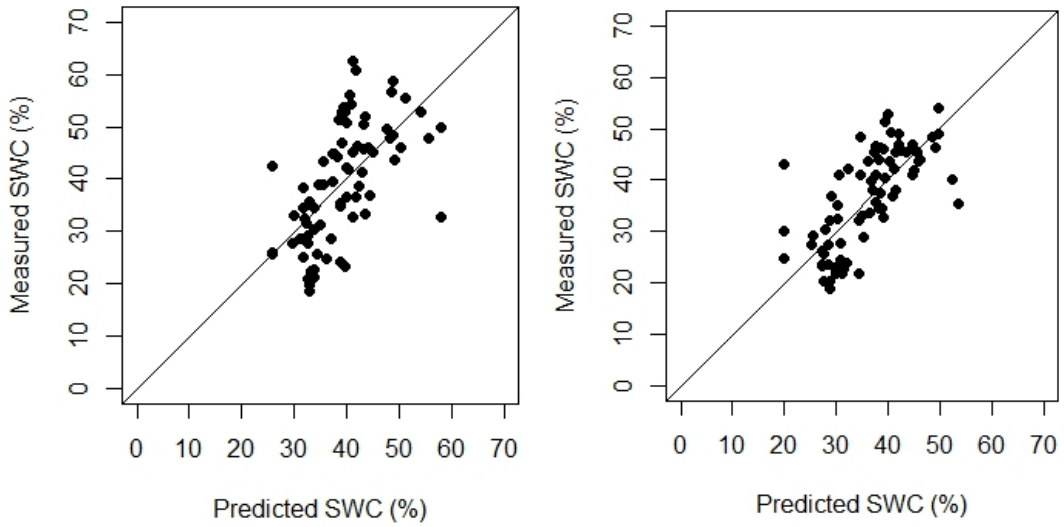


Figure 2. Measuredversus predicted SWC for the vertical mode (0-100cm) on the left and horizontal mode (0-20 cm) on the right in the rainy season. Lines represent the 1:1 ratio.

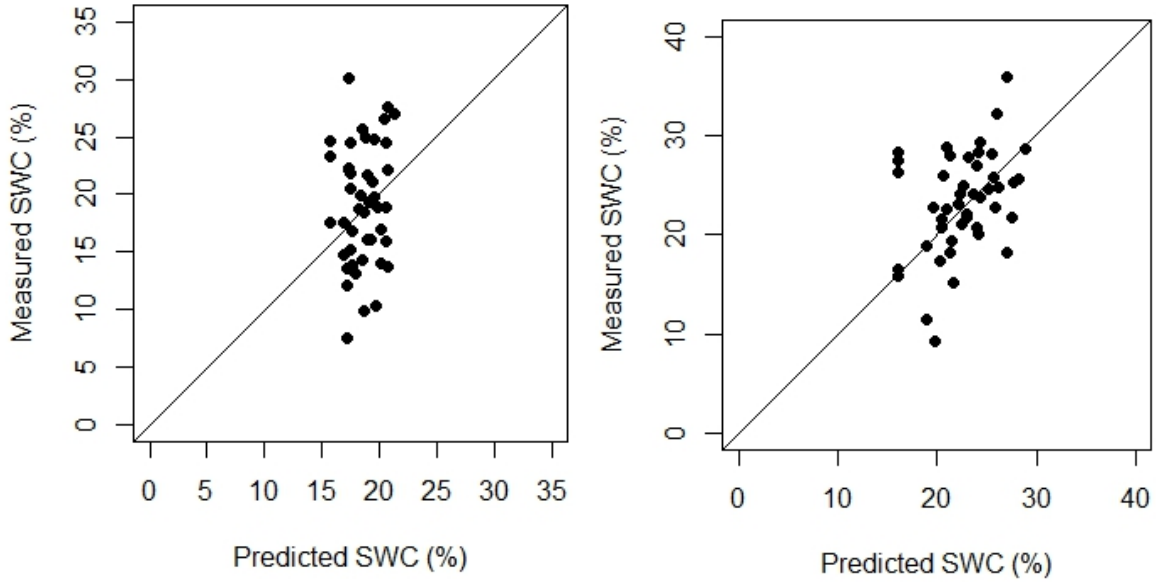


Figure 3. Measuredversus predicted SWC for the vertical mode (0-100cm) on the left and horizontal mode (0-20 cm) on the right in the dry season. Lines represent the 1:1 ratio

4. CONCLUSION

In this paper, we presented an approach that enabled to characterize the response of electromagnetic induction to soil water content. We investigated linear models for estimation of soil water content from electromagnetic induction properties. The main outcomes of these preliminary results on this site are as follows:

Measurements of the EC performed in the horizontal and vertical mode were in general strongly related to each other.

A significant relationship was found between ECa and the SWC in the vertical mode. All the other investigated soil parameters (silt, sand, clay, soil salinity) were found to be non-significantly related to the measurements of the apparent ECa. Measurements of the apparent electrical conductivity can be used to indicate the spatial and depth variation in soil water content. Coefficients of determination of linear regressions between soil water content in 0-100 cm soil depth and ECa in the vertical mode were, r^2=0.74, in February 2013, r^2=0.52 in October 2012. A comparable goodness of fit was found for the water content in 0-20 cm soil depth measured in the horizontal mode by EM 38 in February 2013.

Soil ECa may provide useful information for assessing variation in soil water content across Lebna catchment in the Cap Bon region in Mediterranean conditions and other regions with similar characteristics. Therefore, intensive soil sampling by landscape position would have been necessary to map the spatial variability. This variation was attributed to several possible factors, including the land cover, the soil surface patterns. Therefore, further research under new field samplings and conditions having a more range of water contents may be needed to better understand the processes and factors affecting soil ECa in response to soil moisture before this technique could be used to assess spatial variation in SWC.

Acknowledgements
This research is funded by the French Research Program Mistrals project and the AIRD program JEAI-Jasmin.

REFERENCES

-Akbar M.A., Kenimer A.L., Searcy S.W., Torbert H.A. (2005) : Soil water estimation using electromagnetic induction. *American Society of Agricultural Engineers* 48, 129-135.
-Brevik E., Fenton T., Lazari A. (2006) : Soil electrical conductivity as a function of soil water content and implications for soil mapping. *Precision Agriculture*, 7, 393-404.
-Brevik E.C., Fenton T.E. (2002) : The relative influence of soil water content, clay, temperature, and carbonate minerals on soil electrical conductivity readings taken with an EM-38 along a mollisol catena in central iowa. *Soil Survey Horizons* 43, 9-13
-Huth N.I., Poulton P.L. (2007) : An electromagnetic induction method for monitoring variation in soil moisture in agroforestry systems. *Australian Journal of Soil Research* 45, 63-72.
-IAO, (2002) : Land Resources of the Oued Lebna Catchment (Tunisia). 20th Course Professional Master: Remote sensing and natural resources evaluation. Istituto Agronomico per l'Oltremare, Florence, Italie, p. 132.
-Kachanoski R.G., Gregorichi E.G., Van Wesenbeeck I. J. (1988) : Estimating spatial variations of soil water content using noncontacting electromagnetic inductive methods. Can. J. Soil Sci., 68, 715-722.
-McNeill J. D. (1980) : Electromagnetic terrain conductivity measurements at low induction numbers. *Technical Note TN-6, Geonics Ltd. Mississauga, Ontario*, 15 p, 1980.
-Reedy R, Scanlon B.R. (2003) : Soil water content monitoring using electromagnetic induction. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 129, 1028-1039.
-Rhoades J.D., Corwin D.L. (1981) : Determining soil electrical-depth relations using an inductive electromagnetic soil conductivity meter. *Soil Science Society American Journal*, 45, 255-260.
-Robinson J.B., Silburn D. M., Foley J., Orange D. (2010) : Root zone soil moisture content in a Vertisol is accurately and conveniently measured by electromagnetic induction measurements with an EM38. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia. Published on DVD.
-Shmidhalter U, Zintel A, Neudecker E. (2001) :. Calibration of the electromagnetic induction measurements to survey the spatial variability of soils. *Europ. Conference Precision Agriculture, Montpellier,* 16-20. 06 .01, 479-484.
-Tromp-van Meerveld H. J., McDonnell J. J. (2009) : Assessment of multi-frequency electromagnetic induction for determining soil moisture patterns at the hillslope scale, *Journal of Hydrology*, 368, 56-67.

Contribution à l’étude du stress hydrique de l’olivier sous l’effet du changement climatique dans le Sud Est tunisien

A. Hachani, M. Ouessar, A. Zerrim
Institut des Régions Arides (IRA), Route de Jorf, 4119 Medenine, Tunisia

RESUME
La question du changement climatique (CC) est devenue d’actualité au niveau international ainsi que national. Il est important à ce moment d’orienter les études et les recherches vers l’analyse des impacts et les stratégies d’adaptation. L’objectif de cette étude est d’évaluer le stress hydrique de l’olivier sous l’effet du CC dans le Sud Est tunisien(bassin versant d’oued Oum Zessar, Médenine) moyennant la modélisation hydrologique (modèle HidroMORE). Les données de la pluviométrie et de la température ont été collectées à partir des stations disponibles alors que celles pour les scénarios futures (horizons 2030 et 2090) ont été obtenues en utilisant le *Coupled Model Intercomparison Project phase* 5 CMIP5 (GFDL HIRAM C360). Le paramétrage du modèle a été effectué en se basant soit sur les études déjà entreprises dans la région et des estimations ont été faites pour les autres paramètres. En comparaison avec la période de référence (1996-2005) et suite à l’augmentation de la température de (1°C) et (5°C) et la diminution de la pluviométrie (5.4%) et (20%), ET0 enregistrera une augmentation de (3%) et (9 %) ainsi qu’une diminution de ETCadj de (2%) et (18%), respectivement pour les horizons 2030 et 2090
Mots-clés : Changement climatique, GFDL, HidroMore ,oleiculture, stress hydrique

SUMMARY
Climate change (CC) is a main issue of interest at the international as well as the national levels. It is important at this stage to guide the research to the analysis of impacts and adaptation strategies. The objective of this study is to evaluate the water stress of the olive within the context of CC in the South East of Tunisia (watershed of Oum Zessar, Medenine) using hydrological modeling (HidroMORE model). Data on rainfall and temperature were collected from available stations, while those for future scenarios (Horizons 2030 and 2090) were obtained using the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 CMIP5 (GFDL HIRAM C360). Model parameterization was based from already conducted studies in the region while estimations have been made for the other case. In comparison with the reference period (1996-2005) and following the increase in temperature (1°C) and (5°C) and rainfall decrease of (5.4%) and (20%), ET0 recorded an increase of (3%) (9%) and ETCadj was reduced by (2%) and (18%), respectively for the 2030 and 2090 horizons.
Keywords: Climate change, GFDL, HidroMore, Olive tree, water stress

1. INTRODUCTION

Le développement agricole dans les zones arides est soumis à des contraintes multiples entre autres les changements climatiques. En effet ce changement climatique aura des impacts néfastes sur la durabilité des écosystèmes si certaines mesures d’adaptabilités ne sont pas prises en considération. La Banque Mondiale a établi une liste des cinq principales menaces liées au changement climatique qui sont : la diminution de la couverture neigeuse, du glacier des montagnes, celle de la glace de la mer (une plus grande incertitude en matière agricole), les canicules, les inondations et les tempêtes. L’évaluation locale des changements climatiques constitue une étape assez importante de cette étude d'évaluation. Elle se propose de décrire la situation de références ainsi que les projections futures de climat, de déterminer les impacts de cette situation sur les plantations et de mettre en évidence les réponses (solutions et mesures) pour telle ou telle situation. La différence dans le degré d’impact des changements climatiques selon la situation géographique des pays, est le point de départ pour comprendre la différence dans le comportement du système Plante-Sol face aux réchauffements climatiques. Citons dans cette perspective la situation de l’oléiculture dans un contexte de stress hydrique, ainsi que les stratégies d’adaptation employées pour faire face à ce changement

2. MATERIELS ET METHODES

1. Présentation de zone d’étude

Le bassin versant d’oued Oum Zessar est choisi en raison de sa situation géographique et de la problématique qu’il porte. Il est situé au Nord-Est de la ville de Médenine (**Figure 2**) qui fait partie de la région sud Est de la Tunisie. Ce bassin est drainé par oued Koutine-Oum Zessar, il s’écoule depuis la chaîne montagneuse de Béni Khdache, traverse la délégation de Médenine Nord et arrive à la délégation de Sidi Makhlouf pour se déverser dans le Sebkhas Oum Zessar puis dans la mer. Le point le plus haut du bassin se situe à une altitude de 715 m au niveau de Jbel Moggar.

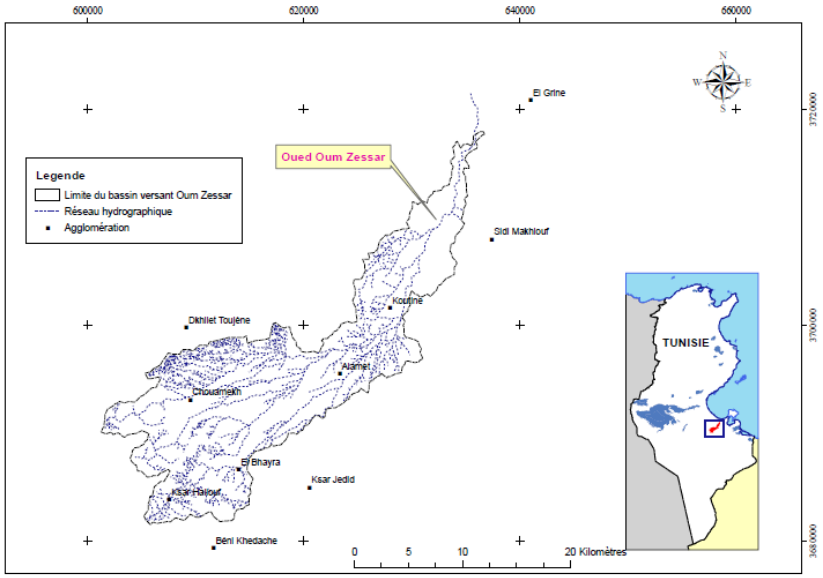


Figure 2. Localisation du bassin versant d’oued Oum Zessar (Ben Zaied, 2009).

2. Approche méthodologique

La démarche méthodologique adaptée lors de notre étude s’est déroulée sur trois étapes : la première a consisté en préparation des données climatiques pour la période de référence et les périodes futures à l’horizon 2030 et 2090. La seconde étape a été consacrée aux traitements des données sur les images Landsat pour la détermination de Cube NDVI ainsi que les traitements sur les cartes des sols et d’utilisation des terres qui présentent des entrées du modèle HidroMORE. La réalisation d’un modèle conceptuel, afin d’extraire et explorer les différents scénarios climatiques et leurs effets sur le stress hydrique des plantations oléicoles a fait l’objet de la troisième étape.

3. Données journalière température et précipitation pour les périodes futures moyennant CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project phase 5)

la communauté scientifique internationale s’est mobilisée, en particulier au travers du Programme mondial de recherche sur le climat (PMRC), pour concevoir et réaliser un exercice de simulations du climat passé et futur (CMIP-5) . Cet effort de recherche, très exigeant en termes de ressources humaines, de puissance de calcul et de stockage de données, rassemble plus d’une vingtaine de centres climatiques dans le monde ayant développé une cinquantaine de modèles numériques. Le grand défi du nouvel ensemble de modèles examinés à CIMP5 est de résoudre les changements climatiques régionaux, en particulier au cours des prochaines décennies, auxquels les sociétés humaines devront s’adapter, et de quantifier l’ampleur des rétroactions dans le système climatique. Le choix d’un modèle et des scénarios pour prévoir l’évolution du climat de notre zone d’étude afin de suivre les paramètres du bilan hydrique et le stress moyennant le modèle Hidromore pour les années futur a reposé sur l’étude de Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) de NOAA en fait GFDL fournit une information journalière pour la précipitation et la température minimale et maximale historique et future pour 8 stations couvrant notre zone d’étude Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) de NOAA, développe et utilise des modèles mathématiques et informatiques pour les simulations afin d’améliorer la compréhension et la prévision de comportement de l'atmosphère, l'océan et le climat.

GFDL procure des modèles atmosphériques. HIRAM C360 High Resolution Atmospheric Model a été développé dans le but de fournir une meilleure représentation des phénomènes météorologiques significatifs dans un modèle climatique global.

4. Le modèle hydrologique HidroMORE

HidroMORE est considéré comme un modèle opérationnel permettant le calcul du bilan hydrique avec un nombre limité de données d'entrée. Un autre aspect pertinent d’HidroMORE est sa capacité à détecter le stress hydrique de la végétation qui peut être obtenue par le bilan hydrique du sol.

4.1. Description du modèle

HidroMORE se base sur la méthodologie de la FAO-56 à double coefficient cultural prenant en compte le stress hydrique, pixel par pixel, dans de vastes domaines et il est assisté par des images satellites pour déterminer les paramètres de couverture et coefficient cultural de base Kcb. Pour cela, HidroMore effectue un bilan hydrique du sol dans chaque pixel de la zone d'étude et détermine l’évapotranspiration ETc, par la méthode de FAO-56, comme décrit précédemment ainsi que les paramètres de bilan hydrique. Pour le mouvement de l'eau du sol, HidroMore utilise un modèle de seau, ce qui signifie que la capacité en eau du sol est considéré comme un réservoir qui alimente ET. Lorsque les précipitations tombent dans le réservoir, il est rempli et l'excès d'eau produite présente la percolation (figure 16).

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P - RO)_i - I_i - CR_i + ETC_i + DP_i \qquad (1)$$

L'équation du bilan hydrique (1) mis en œuvre dans HidroMORE est décrite graphiquement à la figure 2. Chacun de ces paramètres sont entrés dans le modèle sous forme d'images et les sorties sont également des images. Avec ces informations, HidroMORE effectue le calcul de paramètres de bilan pixel par pixel.

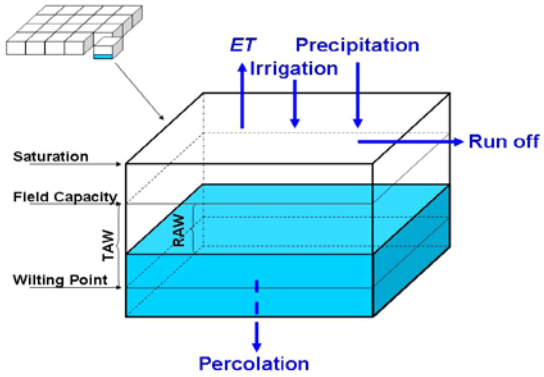


Figure 3. Modèle de bilan hydrique utilisé par HidroMORE

Description des variables d’entrée et de sortie par HidroMore

Les modèles hydrologiques nécessitent beaucoup de données d’entrée pour représenter la réalité. La qualité des données d’entrée est aussi importante, de sorte que la génération et le traitement des données d’entrée est un point crucial dans la modélisation à l’échelle régionale. Pour HidroMore, les données d’entrée sont associées avec le sol et son utilisation, le climat (Figure 3).

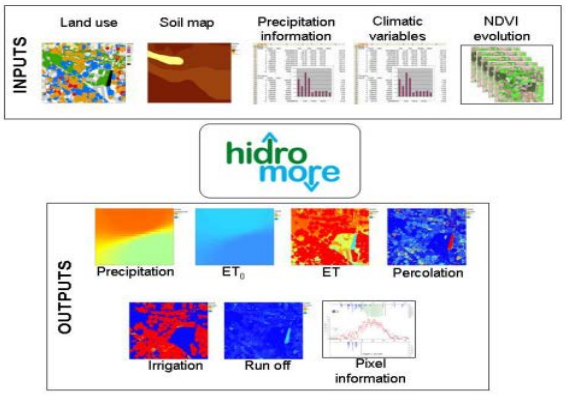


Figure 4. Les entrées et les sorties de modèle HidroMore (Gonzalez, 2006)

Carte des sols

Une carte des sols (au 1/200, 000) de la région Jeffara, qui englobe notre zone d'étude, a été produite par Taamallah (2003) par une interprétation visuelle du spot multi-spectrale (XS) image de 1998 et sur le terrain par des enquêtes. Cependant, la carte des sols n'identifie pas les sols qui ont été construits derrière les unités de collecte d'eau. Par conséquent, la modification de cette carte était nécessaire pour répondre aux exigences de l'application du modèle à notre zone d'étude comme a été fait par Ouessar *et al.*, (2009). Trois classes ont été ajoutées; des sols «artificiels» formé derrière les structures de collecte d’eau des par le dépôt de sédiments (JESR: les sols derrière jessour, Tabs: les sols derrière tabias) et les affleurements calcaires (AFFL). En fait, ils ont été dans la plupart du temps fusionné en une seule classe (régosols) (Taamallah, 2003). Un résumé des paramètres du sol nécessaires pour le modèle HidroMore est donné dans le tableau 1.

Tableau 5 les caractéristiques de différents types de sols

Sol	GH	REW	ZE	PR_LIMITAN	WP1	FC1	SAT1	K1	WA1	BD1[1]
[2]CRCG	4	6.00	0.10	0.20	0.06	0.14	0.40	2.90	0.08	1.59
CRGY	3	4.50	0.10	0.20	0.03	0.10	0.35	8.26	0.07	1.71
MBEH	4	6.00	0.10	0.20	0.08	0.17	0.42	1.83	0.09	1.54
PEAH	1	6.00	0.10	2.00	0.06	0.15	0.41	4.27	0.09	1.63
JESR	1	8.00	0.10	2.00	0.11	0.24	0.44	6.00	0.13	1.87
HALO	1	4.50	0.10	2.00	0.03	0.10	0.34	11.28	0.07	1.75
STAB	2	6.00	0.10	1.00	0.10	0.16	0.44	12.00	0.08	1.75
HYDR	1	4.50	0.10	2.00	0.03	0.10	0.34	11.28	0.07	1.75

[1]GH : Groupe hydrologique, REW : eau réellement évaporable en mm,Ze : profondeur de couche évaporable en m,Pr limitant : profondeur limite des racines en m ,WP1 : humidité volumique à la capacité au champ en m^3/m^3 ,Fc1 : humidité volumique au point de flétrissement permanent en m^3/m^3,Sat : Humidité volumique à saturation en m^3/m^3 WA1:fc-WP : l’eau facilement utilisable dans le sol m^3/m^3 ,BD: densité apparent en cm/h, K1: conductivité hydraulique à la saturation en cm/h

[2]MBEH: minéraux bruts d’érosion hydrique (Regosols); PEEH: peu évolués d’érosion hydrique (Regosols); PEAH: Peu évolués d’apport hydrique (Fluvisols); CRCG: calcimagnésiques sur rendzine calcalire (Rendzinas); ISOH: isohumiques bruns calcaires tronqués (Xerosols): AFFL: outcropping; JESR: soil on the terraces of jessour; STAB: Soil on the terraces of tabias.HYDR: Hydromorphe;CRGY: calcimagnésiques sur rendzine (gypseux); HALO: Halmorphe;CRGM:CRCGavec une profondeur différent ;ISHM :ISOH avec une profondeur diffférent;PEHM :PEEH avec une profondeur différent

ISOH	3	6.00	0.10	0.40	0.05	0.13	0.38	4.15	0.08	1.62
PEEH	3	6.00	0.10	0.20	0.07	0.16	0.41	2.42	0.09	1.57
AFFL	4	4.50	0.10	0.10	0.04	0.08	0.42	0.92	0.05	0.77
CRGM	2	4.50	0.10	0.50	0.06	0.14	0.40	3.00	0.08	2.00
ISHM	2	4.50	0.10	0.50	0.05	0.13	0.38	4.00	0.08	2.00
PEHM	2	4.50	0.10	0.50	0.07	0.16	0.41	2.00	0.09	2.00

Carte d’utilisation de sols

La plantation d’arbres fruitiers dans le bassin versant d’étude se fait uniquement sur les terrasses fertiles créées par les ouvrages de rétention d’eau et de sédiments. Elle est dominée à près de 90 % par l’olivier (Ouessar 2007). La quantité de la récolte annuelle varie suivant les conditions pluviométriques de l’année précédente. L’oléiculture peut être classé en ***:****Oliviers derrière les jessour etOliviers derrière les tabias.* Cette étude se base sur l’évaluation d’état de stress hydrique chez les oléicultures donc la réalisation d’un masque sur la carte d’utilisation de sol est nécessaire pour avoir juste la classe des arboricultures précisément l’oléiculture et par la suite on a 3 classes : Oliviers dans les plaines, Oliviers dans les montagnes, Autres qui sont les céréales épisodique durant les années humides, la végétation naturelle dans : montagne, plaine, et halophyte.

-Données climatiques

Les données de température et les précipitations ont été téléchargées à partir de site : les données climatiques du monde:www.tutiempo.net/en/. Pour les stations de la région d'étude, pendant la période de référence, on a utilisé 8 stations, chacune présente des informations de précipitations et une seul station permet d’avoir des informations de température aussi comme indique **Tableau 6.** Coordonnées des stations pluviométriques pour la période de référence . Pour la période future (2026-2035) et (2086- 2095) le GFDL fournit 8 stations pour notre zone: 8 stations de précipitations et station de température comme indique le tableau 3. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Tableau 6. Coordonnées des stations pluviométriques pour la période de référence

Station	**X UTM (m)**	**Y UTM (m)**	**Altitude (m)**	**Groupe de station**	**Type de station (T: température, P :précipitation)**
Mareth	619020	3720234	52	1	P
Sidi Makhlouf	637412	3707889	45	1	P
Allamet	623390	3695498	145	1	P
Koutine	627980	3701600	99	1	P
Medenine	638440	3689600	117	1	TP
Beni Khdéche	611653	3679340	512	1	P
Ksar Jdid	620637	3685121	184	1	P
Ksar Hallouf	606756	3682374	430	1	P

Tableau 7. Coordonnées des stations pluviométriques pour la période future

Station	**X UTM (m)**	**Y UTM (m)**	**Altitude (m)**	**Groupe de station**	**Type de station (T ::température ;P :précipitation**
A	607862	3665739	483	1	P
B	637016	3666104	195	1	P
C	666172	3666556	79	1	P
D	607555	3693457	317	1	P
F	636627	3693824	104	1	TP
E	665700	3694277	30	1	P
G	607246	3721177	102	1	P
H	636234	3721545	0	1	P

-Images NDVI

Images NDVI ont été déterminées à partir des images Landsat 5 et 7 téléchargées de site USGS. Les images ont été corrigées géométriquement et atmosphériquement. Pour former les cubes, il est nécessaire de regrouper les images NDVI chronologiquement, pour chaque année.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Analyse climatique : Test de Validation du modèle GFDL–HIRAM

La figure 4 montre que les corrélations obtenues entre les valeurs réelles et les résultats estimées par le modèle GFDL HIRAM des températures et des précipitations annuelles sont globalement satisfaisantes en terme de température moyenne (1979-2008) avec un R^2= 0.812 et précipitation (1999-2006) avec R^2=0.81.Donc ce modèle prouve sa validation pour la période de contrôle et par suite il est fiable pour une étude de période de référence (1996-2005) et de scénarios future à l’horizon 2030 et à l’horizon 2090.

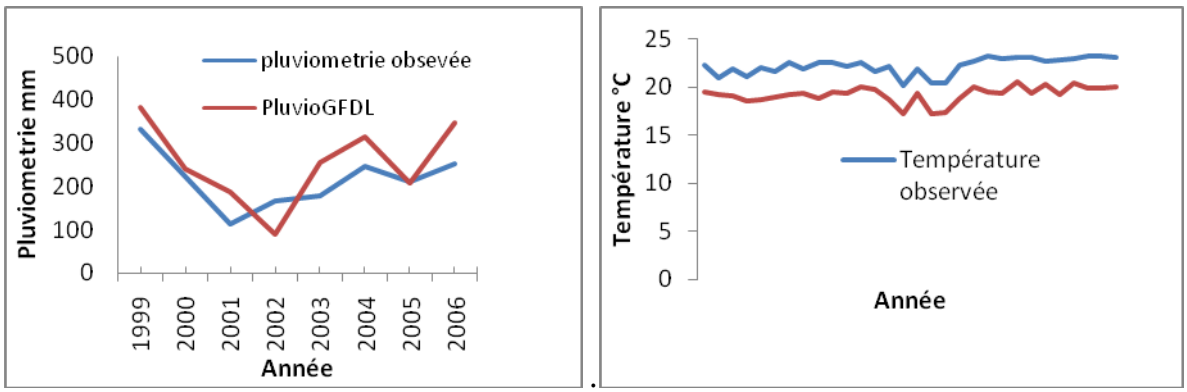


Figure 5. Précipitation observée et estimée par GFDL HIRAM C360 à Benikhdéche (à gauche)et température observée et estimée par GFDL HIRAM C360 (à droite)

Calibrage

On a recours au modèle conceptuel pour calibrer le model HidroMORE par l’ajustement des valeurs numériques attribués aux paramètres du modèle pour reproduire une réponse observée. Le modèle HidroMore utilise deux approximations: mode image et mode table pour estimer Kcb qui est un paramètre clé dans la simulation. La première comme déjà mentionné consiste à utiliser le Kcb à partir de cube NDVI, et le second est de l’évaluer par des tables de Kcb liées à des classes de la carte d'utilisation des sols définies par l'utilisateur. Les résultats de ces deux approximations de la zone d’étude sont présentés dans la figure 6 considérant les propriétés et les conditions initiales de système sol-végétation-atmosphère pendant le fonctionnement du modèle. Ces deux approximations présentent les résultats de percolation et ETCadj pour les années 1986, 1987, 2000, 2001,2009 ,2010. Toutefois, il existe quelques différences qui ne sont pas systématiques. Le coefficient de corrélation R^2 a été calculé comme mentionné dans le tableau 4. Citons par exemple R^2 de 2000 pour ETC adj est de l’ordre de 0.93 et la percolation est 0.82.

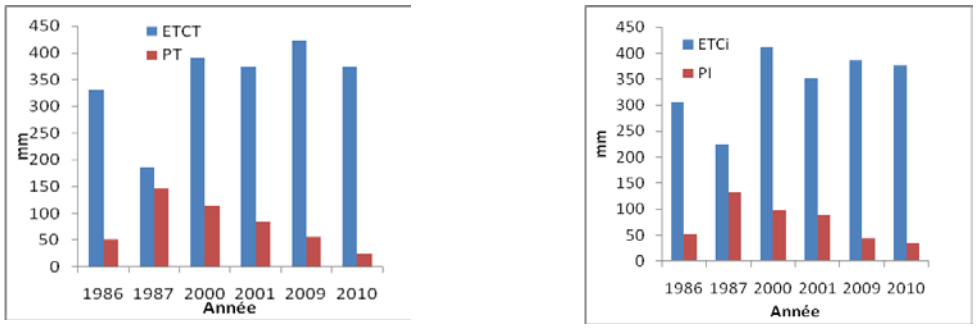


Figure 6. Evapotranspiration ETCT et de percolation PT estimés par HidroMore en utilisant la forme table pour Kcb (à gauche)et Evapotranspiration ETCi et de percolation Pi estimés par HidroMore en utilisant la forme image NDVI pour évaluer Kcb (à droite)

Tableau 8. Valeur de coefficient de corrélation pour ETC et percolation en 1986, 1987, 2000 2001, 2009,2010

ANNEE	R^2 : ETC adj	R^2 : Percolation
1986	0.99	0.99
1987	0.94	0.98
2000	0.93	0.82
2001	0.93	0.79
2009	0.99	0.93
2010	0.86	0.83

Vérification de l'algorithme de bilan hydrique par HidroMORE

Pour vérifier l'intégrité du calcul effectué par HidroMore on a décidé de comparer les résultats avec ceux d'une autre application qui a été complètement indépendante d’HidroMore qui se caractérise par la fiabilité de calcule ETcadj moyennant FAO-56. Cela a été fait en utilisant l'annexe 8 d’Allen *et al.*, (1998) qui présente une feuille de calcul Excel qui calcule la ETcadj pour une culture donnée. Le fichier numérique de cette page Excel a été téléchargé à partir du site web de R. G. Allen, de l'Université de l'Idaho (http://www.kimberly.uidaho. edu/water/ fao56/index.html). La vérification a été faite en utilisant le pixel de sortie d’HidroMORE. Les fichiers de sortie par pixel fournit des informations à la fois d'entrée et de sortie du modèle Pour ce pixel en fait on a essayé d’introduire ces données par pixel comme données d’entrées dans la feuille Exel et vérifier la sortie Cette vérification est faite pour montrer la comparaison des deux approches, qui se coïncident avec le groupes des points comme mentionné dans la figure 8, Ce qui indique que la programmation FAO-56 proposé par Allen *et al.*, (1998) et HidroMORE, présentent presque les mêmes valeurs calculées de ETc adj. Les résultats de cette comparaison offrent une fiabilité dans la mise en œuvre de la méthodologie effectuée par la FAO-56 et HidroMORE.

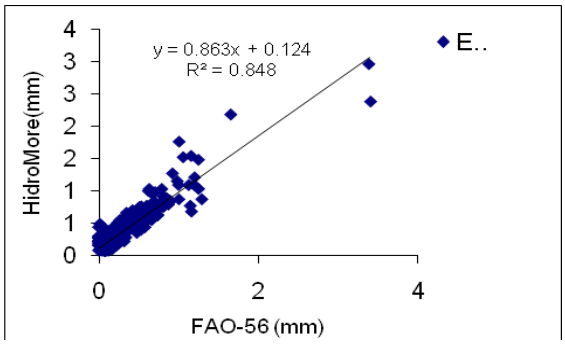


Figure 8. Comparaison de deux méthodes de calcul ETcadj par la FAO-56 et HidroMORE.

Carte d’ETc adj

Le modèle HidroMORE a été appliqué pour la période de référence (1996-2005) puis pour les scénarios futurs avec le même jeu de paramètres, la même carte des sols, la même carte d’occupation du sol, mais avec de nouvelles données climatiques afin de voir quelle serait l’évolution du paramètre de bilan sur le bassin versant d’Oum Zessar. Ainsi, puisque seulement les températures et les précipitations changent entre la modélisation hydrologique de scénario passé et la modélisation hydrologique des scénarios futures (horizons 2030 et 2090), nous aurions des indications sur l’impact d’une hausse des températures et d’une fluctuation des pluies sur le régime hydrique et par suite le stress. Ces informations sont intéressantes dans la mesure où les impacts sur les ressources en eau pourraient ainsi être prévus, dans une région où le climat joue un rôle prépondérant. L’évapotranspiration réelle a tendance à être très variable dans l'espace en tant que conséquence de la disponibilité de l'eau dans le sol et l'énorme fluctuation de précipitations. On peut remarquer que les zones à fort ETCadj sont en concordance avec les zones où la précipitation est importante comme indiquent les figures 9 jusqu’à 14. En effet, la précipitation est une variable importante dans le bilan d'eau, qui influe sur d'autres variables comme ETCadj surtout que la culture étudiée est en pluviale, alors la précipitation est un paramètre clé pour la mise en œuvre d'un équilibre de l'eau ainsi que facteur indispensable pour l’évaluation du stress. Les résultats de HidroMORE, pour les 3 scénarios, dans notre zone d’étude montrent comment la précipitation annuelle varie. Pour la période de référence, la précipitation moyenne est de l’ordre de 174 mm ainsi qu’ETC adj est 162 mm (93% de la précipitation).A l’horizon de 2030, la précipitation moyenne est de l’ordre de 165 mm .Cette quantité d'eau qui pénètre dans le système de production remonte à l'atmosphère par ETcadj qui est de l’ordre de 160 mm (97%) de précipitation. A l’horizon 2090, la précipitation moyenne est de l’ordre de 139 mm et ETCadj tend vers 133mm (95%) de précipitation. Il est clair que presque toute la quantité d’eau reçue par la précipitation va se présenter comme ETc adj. Pour le scénario de référence et les scénarios futures, il est nécessaire de mettre en exergue que la fluctuation des valeurs ETcadj trouve son explication par la variabilité de précipitation dans la zone d’étude lorsque la précipitation est faible, la plante ferme ses stomates et diminue sa transpiration et le stress s’accentue et par suite ETCadj est faible.

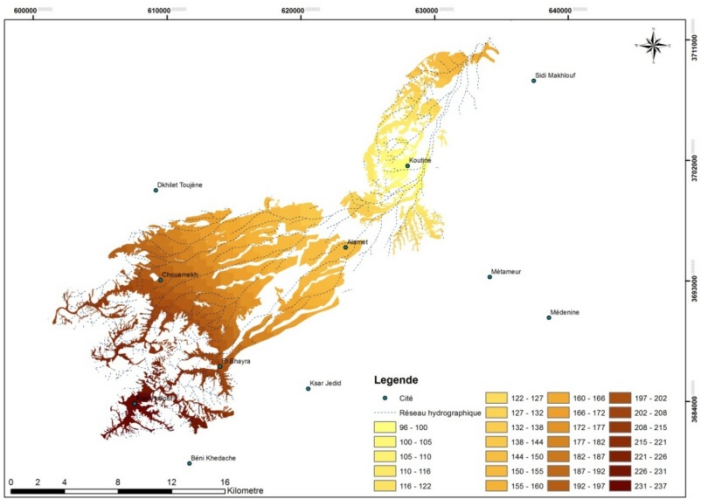


Figure 9. Carte d’évapotranspiration annuelle ajustée (mm) pour la période de référence

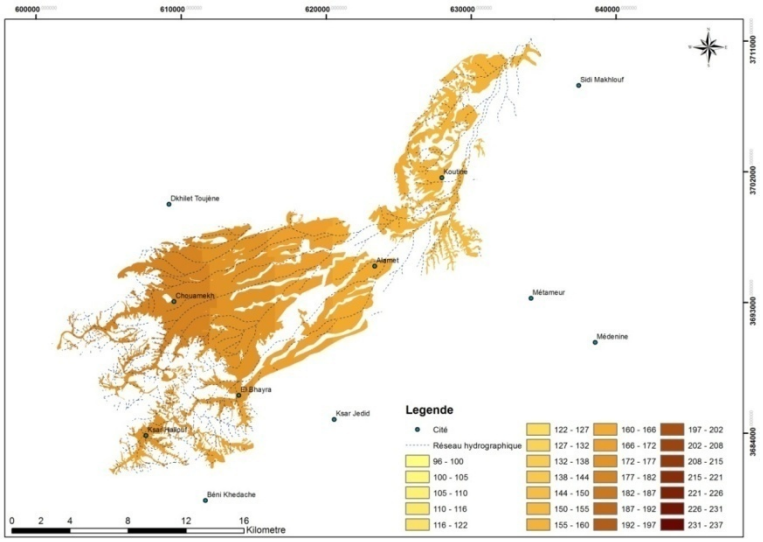


Figure 10. Cartes d’évapotranspiration annuelle ajustée (mm) à l’horizon 2030

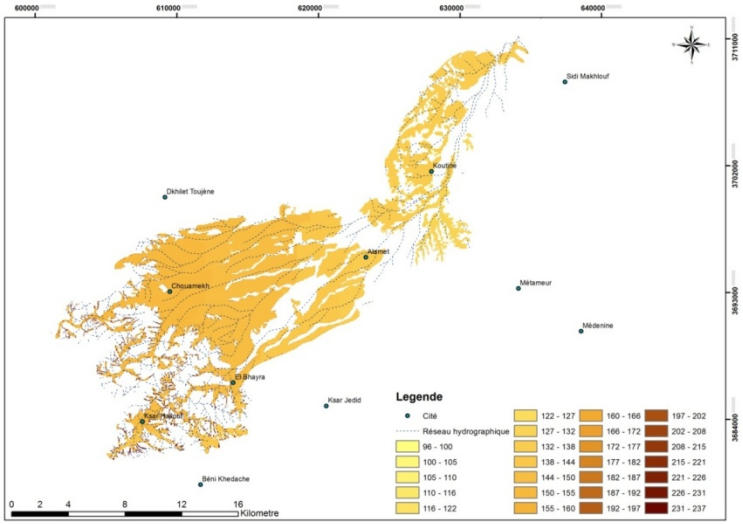


Figure 11. Cartes d’évapotranspiration ajustée à l’horizon 2090

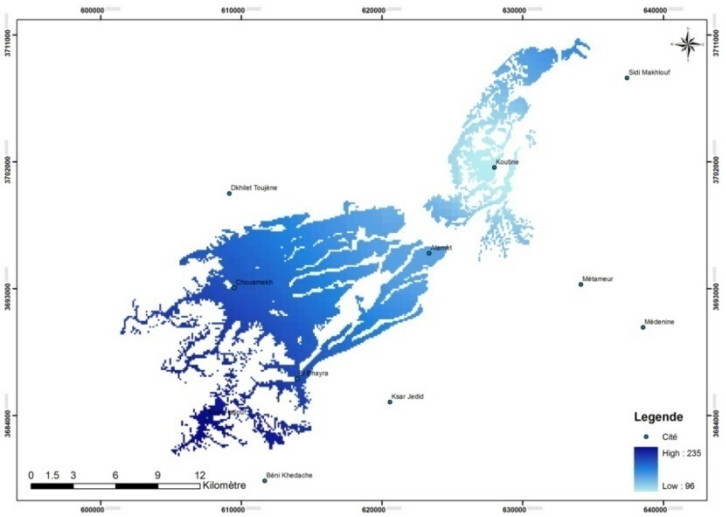


Figure 12. Carte de précipitation annuelle (mm) pour la période de référence

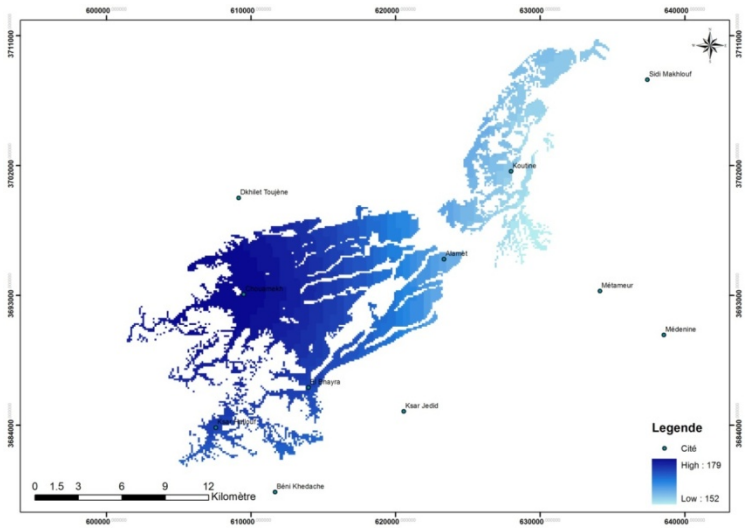


Figure 13. Cartes de précipitation annuelle (mm) à l’horizon 2030

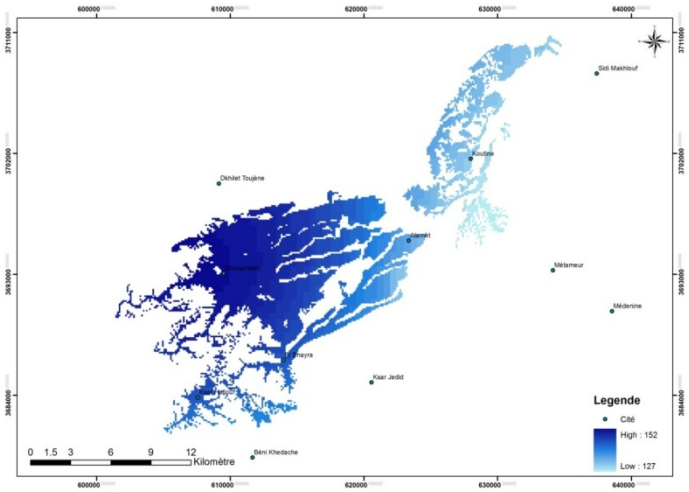


Figure 14. Cartes de précipitation annuelle (mm) à l’horizon 2090

Stratégie d’adaptation

Donc il serait opportun de prévoir des programmes d'actions au niveau d’Oum Zessar afin d'adapter la production agricole à la nouvelle conjoncture et par suite il s’agit de renforcer certaines mesures existantes dans le domaine de la protection des ressources en eaux ainsi que le système de production citons dans cette perspective certains mesures tels que : Développer des systèmes de prévision et d’alerte précoce des sécheresses, Limiter le plus possible l’extension des plantations oléicoles surtout vers les zones marginales, Encourager le choix des variétés adaptées, Prévoir des irrigations de sauvetage en cas de sécheresses prolongées.

4-CONCLUSION

On guise de conclusion, on peut dire que ce travail est consacré à l’étude de l’état de stress hydrique chez l’oléiculture dans la zone d’Oum Zessar sous l’effet des changement climatique pour une période de référence (1996-2005) et deux scénarios futures (2026-2030) et (2086-2095) Il a permis de mettre l’accent sur l’apport de télédétection dans le domaine hydrologique pour la mise en place de base de données regroupant l’ensemble des données utiles. L’évaluation de stress hydrique de l’olivier sous l’effet du CC dans le Sud Est tunisien(bassin versant d’oued Oum Zessar, Médenine) a été réalisé moyennant la modélisation hydrologique (modèle HidroMORE). On a appliqué le modèle HidroMore pour la période de référence puis pour les scénarios futures avec le même jeu de paramètres, mais avec

de nouvelles données climatique afin de voir quelle serait l’évolution du paramètre ETCadj dans le bassin versant d’Oum Zessar. Les résultats d’HidroMore, pour la période de référence et les deux scénarios futures, dans notre zone d’étude montrent comment la précipitation annuelle varie. En effet, cette quantité d'eau qui pénètre dans le système de production remonte à l'atmosphère par ETcadj. Donc il est nécessaire de mettre en exergue que la fluctuation des valeurs ETcadj trouve son explication par la variabilité de précipitation dans la zone d’étude lorsque la précipitation est faible , la plante ferme ces stomates et diminue sa transpiration. En comparaison avec la période de référence (1996-2005) et suite à l’augmentation de la température de (1°C) et (5°C) et la diminution de la pluviométrie (5.4%) et (20%), ET0 enregistrera une augmentation de (3%) et (9 %) ainsi qu’une diminution de ETCadj de (2%) et (18%), respectivement pour les horizons 2030 et 2090.Dans n’importe quel travail de modélisation hydrologique (telle que HirdoMore), il existe des incertitudes à tous les niveaux. Ainsi, des améliorations pourraient faites citons:

- Affiner davantage les données d’entrées et le paramétrage du modèle,
- Utilisation de plusieurs images satéllitales,
- Prise en compte des aménagements de collecte des eaux de ruissellement et de crues,
- Intégrer des scénarios d’adaptation (irrigation d’appoint, etc.)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Allen RG, Tasumi M. (2003) : Application of SEBAL for western US water rights regulation and planning. International Workshop Use of Remote Sensing of Crop Evapotranspiration for Large Regions.

-Ben Zaied M. (2009) : Etude d’impact des aménagements CES par application des modèles hydrologiques (Cas du bassin versant d’oued Oum Zessar). Mémoire de Master, ENIT

-Gonzalez Piqueras J. (2006) : Evapotranspiración de la Cubierta Vegetal mediante la Determinación del Coeficiente de Cultivo por Teledetección. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia

-Ouessar M. (2007) : Hydrological impacts or rainwater harvesting in wadi Oum Zessar watersheds (southern Tunisia). Ph.D. thesis, faculty of bioscience Engineering, Ghent university, Ghent, Belgium, 154 p

-Ouessar M, Bruggeman A, Abdelli F, Mohtar H, Gabriels D, Cornelis WM. (2009): Modelling waterharvesting systems in the arid south of Tunisia using SWAT. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13 (10), 2003–2021.

-Taamallah H. (2003) : Carte pédologique de la Jeffara. Rapport interne, projet Jeffara, IRA/IRD, Tunis.

www.tutiempo.net/en/

Relation entre les conditions édaphiques et le couvert végétal en zone steppique

Madani Djamila[1], Bensaid Rabeh[2], Hiouani Fatima[3], Tir Chafia[4]
[1]Département d'agronomie.Université de M’sila, Algérie. Email :agrobatna2007@yahoo.fr
[2]Département d'agronomie.Université de Skikda, Algérie
[3]Université Mohammed Keider, Biskra, Algérie
[4]Département d'agronomie. Université de M'sila, Algérie

RESUME
La zone d'étude située près du périmètre du bassin de Hodna, entre Barika et M'doukal, environ à 3 km au Nord-est de la ville de M'doukal. Son altitude varie entre 420 et 450 mètres couvre une superficie de 5000 hectares. Elle est caractérisée par un climat chaud et sec, et appartient à l'étage bioclimatique aride. La mise en valeur de sol et la végétation de cette zone rend plus que nécessaire l'étude de ces derniers. Notre travail avait pour objectif de caractériser les paramètres physico-chimiques des sols, ainsi les caractéristiques floristiques pour mieux comprendre le phénomène de dégradation de ce milieu.
Ce travail nous a permis de montrer que les sols caractérisés par : une textures sableuses à limoneuses, présence du calcaire, gypse, sels solubles, basiques, pauvres en matières organiques et une minéralisation élevée. Les relevés floristiques révèlent uniquement des espèces steppiques adaptées à ce milieu (Anabasis, Zizyphus, Atriplex, etc.). La plupart de ces plantes sont épineuses et leurs densités sont généralement faibles. A travers notre étude nous pouvons dire qu'il existe une relation entre la distribution de la végétation et le sol tuteur, en d'autre terme ces sols portent une végétation pérenne moins dense souvent clairsemée qui ne pouvait assurer pas une bonne protection aux sols contre l'érosion éolienne et hydrique. Pour lutter contre la dégradation de cet écosystème fragile il est important de choisir des espèces adéquates car son fonctionnement écologique dépend fortement sur de meilleures interactions entre la végétation et le sol.
Mots clés: relation sol-végétation, steppe, M'doukal.

SUMMARY
The study area is located near the perimeter of the basin Hodna between Barika and M'Doukal, about 3 km north-east of the city of M'Doukal. Its altitude varies from 420 and 450m and covers an area of about 5000 ha. It is characterized by a hot and dry climate, and belongs to arid climatic. Our work aimed to characterize the physico-chemical parameters of soil and floristic characteristics to better understand the phenomenon of environment degradation. This work allowed us to show that soils characterized by a basic sandy loam textures, presence of limestone, gypsum, soluble salts, low in organic matter and high mineralization. The floristic surveys reveal only steppe species adapted to this environment (Anabasis, Zizyphus, Atriplex, etc..). Most of these plants are difficult and their densities are generally low. Through our study we can say that there is a relationship between the distribution of vegetation and soil guardian, in other words these soils are often a less dense sparse perennial vegetation that could not provide a good protection against soil wind and water erosion.
To fight against the degradation of this fragile ecosystem it is important to choose appropriate species for the ecological functioning depends heavily on better interactions between vegetation and soil
Keywords: relationship, soil, vegetation, steppe, M'Douka

1. INTRODUCTION

En Afrique, dans les milieux arides notamment les régions steppiques, la dégradation du sol a connu une ampleur alarmante ces dernières années, causant ainsi une désertification et un déséquilibre écologique.
La conjonction des facteurs climatiques et pédologiques entraine d’importants processus érosifs qui affectent le potentiel agro-pastoral des régions steppiques. A cause de l’agressivité climatique ; et le surpâturage, les régions steppiques de l’Algérie sont caractérisées par une formation végétale naturelle très faible et une couverture pédologique souvent dégradée. Ce travail a pour objectif de caractériser les paramètres physico-chimiques des sols, ainsi les caractéristiques floristiques pour mieux comprendre le phénomène de dégradation de ce milieu.

2. PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE

La zone d’étude est située près du périmètre du bassin de Hodna, entre Barika et M'doukal, environ à 3 kilomètres au Nord-est de la ville de M'doukal. Son altitude varie entre 420 et 450 mètres et couvre une superficie de 5000 hectares. Elle située dans l’étage bioclimatique aride moyen a hiver frais, au sens d’Emberger (Emberger ,1955), reçoit 224 mm en moyenne pour 39 jours de pluie par an.

3. MATERIEL ET METHODES

L’échantillonnage sur le terrain a été exécute suivants 02 transects, pour chaque transect des relevés floristiques (présentés sur l’aire minimale) dans notre cas est 100 m^2 et un profil pédologique sont effectuées, chaque profil contient 04 horizons (70 cm de profondeur).

3.1. Etude au laboratoire

Pour le sol, différentes analyses ont été conduites pour déterminer le pH, la CE, le calcaire total, le gypse, et le phosphore assimilable.

Pour la flore, des relevés floristiques ont été effectués sur une aire minimale de 100 m^2.

4. RESULTATS

4.1. Conditions édaphiques

Les résultats d’analyses sont résumés dans les tableaux 1 et 2I. Le pH d’eau varie entre 7, 85 et 8, 58 pour tous les horizons. Selon les normes d’interprétation du pH-eau du sol (Baize, 1988), le pH est généralement basique. Ceci est dû aux teneurs élevées en calcaire total. C’est une fourchette des pH courants pour les sols en régions arides **(**Daoud et Halitim, 1994).

Les teneurs en calcaire sont variables de 8.46 à 23.46%. Selon Baize (1988), les horizons de deux profils sont modérément calcaires.

La teneur en gypse est faible, le taux varie de 1.04 à 6.9 %. Pour la salinité, selon l’échelle de salinité des sols de l’extrait aqueux de 1/5, nous avons trois classes à savoir sol salé (horizon 1 du profil 1), sol très salé (horizon 2 du profil 1) et sol extrêmement salé (profil 1 et ses horizons 3 et 4 et les horizons 1, 2 et 3 de profil 2).

La teneur en phosphore assimilable est faible à moyennement faible dans les deux profils étudiés à cause de l’excès du calcium qui engendre des phénomènes de blocage de phosphore assimilable (Gervy, 1970; Loué, 1987), sauf quelques échantillons où l’eau est moyennement riche.

Selon Hamdy et Makhlouf (2002), la fixation ou la mobilisation des ions phosphorique est remarquablement influencée par les sels.

Tableau 1. Résultats d’analyses du sol (profil 1)

Horizons	pH (1/2.5)	CE (dS/m) à 25 °C	Calcaire total (%)	Gypse (%)	Phosphore assimilable (ppm)
0-10	8.15	1.57	23.46	1.56	76
10-30	8.37	2.45	23.07	1.04	78
30-50	8.58	4.23	21.53	2.23	100.15
50-70	8.48	4.48	23.46	1.37	112.5

Tableau 2. Résultats d’analyses du sol (profil 2).

Horizons	pH (1/2.5)	CE (dS/m) à 25 °C	Calcaire total (%)	Gypse (%)	Phosphore assimilable (ppm)
0-10	8.11	3.17	9.37	4.63	86.9
10-30	8.13	12. 52	8.46	6.9	100.21
30-50	7. 85	12.08	10.19	5.09	75.54
50-70	8.07	7.98	15.57	3.58	79.18

4.2. Caractéristiques floristiques

A travers les relevés floristiques effectués, nous avons recensé quatre espèces appartenant à la famille chénopodiacées.

Les espèces de cette station sont considérées comme des espèces halophiles qui tolèrent le calcaire et le gypse (Le houerou ,1995). Elles reflètent les conditions du milieu souvent clairsemées, ceci

correspond sensiblement au climat (aridité) et les facteurs édaphiques interviennent sur le développement de la végétation.

Tableau 3. Les relevés floristiques de la zone d’étude

Espèces	Famille
Suaeda monodiana *Atriplex halimus* *Suaeda mollis* *Salsola tetragona*	chénopodiacées

5. CONCLUSION

A travers les résultats obtenus, un certain nombre de conclusions peuvent être dégagées. En premier lieu, la caractérisation des sols de M’doukal au laboratoire a révélé que la salinité est élevée, avec une alcalinité modérée, une quantité moyenne en gypse et une teneur élevée en calcaire. Dans un deuxième temps, les relevés floristique a permis de caractériser les espèces végétales de la zone d’étude. Ils constituent des groupes écologiques édaphiques, matérialisent l’action des conditions édaphiques sur leur composition floristique. Ainsi, nous pouvons dire qu’il existe une relation entre la distribution de la végétation et le sol tuteur.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Baize, D. (1988) : Guide des analyses courantes en pédologie. ed INRRA paris ,172p.
-Daoud Y et Halitim A. (1994) : Irrigation et Salinisation au Sahara Algérien. Secheresse. 3 (5), pp : 151- 160
-Emberger L. (1955) : Une classification biogéographique des climats .trav .ins . Montpellier ,7p
-Gervy R. (1970) : Les phosphates et l’agriculture. Ed.Dunod.Paris, 298 p
-Hamdy A et Makhlouf A. (2002) : Advances in soil salinity and drainage management to save water and protect the environment .min. agr. Algérie, p: 35-38
-Le houerou HN. (1995) : Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l’Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertification. Optionme diterranée. serie B.Monpelier, 397 p.
-Loué A .(1987**) :** Les oligo-éléments en agriculture .Ed .Nathan. Paris, 577p.
-Mathieu C et Pieltain F. (2003) : Analyses chimiques des sols .Lavoisier .Paris, 292 p.

Expression des protéines sous le choc de froid chez le blé dur (Triticum Durum, Desf)

Mekhlouf A.[1], Dehbi F.[2], Hannachi A.[3], Rouag N.[1]
[1]Université Farhat ABBAS Sétif1, Algérie
[2]Université Djelfa, Algérie
[3]INRAA-Unité de Sétif, Algérie
Email : mekhloufa@yahoo.fr

RESUME
Au cours de leurs cycles végétatifs les plantes sont sujettes aux stress biotiques et abiotiques. Pour faire face à cette situation, elles développent de nombreuses stratégies adaptatives qui s'expriment à différents niveaux organisationnels à l'échelle de la plante (organe, cellule, organite). Il existe cependant plusieurs critères d'ordre morphologiques, physiologiques et biochimiques qui discriminent relativement bien entre génotypes tolérants et sensibles aux stress. Cette discrimination permet d'envisager la sélection de génotypes résistants. Pour expliquer l'effet du stress thermique sur le blé bur, nous avons étudié trois génotypes : Waha, Martondur$_3$ et Martondur$_3$/Waha (cette dernière est issue de croisement Waha x Martondur$_3$). L'étude est menée sur des échantillons élevés dans des conditions optimales de développement (témoins, T1, sans stress) et des échantillons endurcis et stressés (T2). L'ensemble des échantillons, des traitements T1 et T2, a été soumis à un choc de basses températures de -5°C pendant 24 heures. Des mesures ont porté sur le teneur en chlorophylle, teneurs en protéines solubles et une comparaison des profiles électrophorétiques sur gel de polyacrylamide. Une variabilité a été notée chez les cultivars étudiés ainsi que pour les traitements ; mettant ainsi l'effet de l'endurcissement et du choc thermique sur les variables mesurées. Notant que l'étude a été réalisée durant la campagne 2008/09, au laboratoire de l'INRRA-Unité de Sétif Algérie.
Mots-clés : Blé dur, choc thermique, basses températures, Chlorophylle, protéines, SDS-PAGE.

1. INTRODUCTION

Au cours de leurs cycles végétatifs les plantes sont sujettes aux stress biotiques et abiotiques. Pour faire face à cette situation, elles développent de nombreuses stratégies adaptatives qui s'expriment à différents niveaux organisationnels à l'échelle de la plante (organe, cellule, organite).
La résistance aux stress qui dépend du stade de développement de la plante, et de l'intensité du stress, ne peut être prévue d'avance, suite à son caractère relatif. Il existe cependant plusieurs critères d'ordre morphologiques, physiologiques et biochimiques qui discriminent relativement bien entre génotypes tolérants et sensibles aux stress. Cette discrimination permet d'envisager la sélection de génotypes résistants.
Ainsi, les stress induisent des modifications quantitatives et qualitatives des protéines synthétisées. Les protéines de choc de froid émergent suite à une réponse cellulaire rapide, stimulée lorsque la température baisse fortement relativement à la température optimale de croissance (Thomashow, 1999). Les polypeptides nouvellement synthétisés sont dirigés vers les différents compartiments cellulaires (Dionne *et al.*, 2001). La réorientation de la synthèse protéique induite par le froid fait suite à l'activation du processus de bocage- déblocage de l'expression génique en réponse au stress
Les protéines ainsi synthétisées jouent un rôle dans la structure et l'assemblage des protéines au sein du cytoplasme et du réticulum endoplasmique. On assiste, chez les sujets sensibles, à une réduction de l'efficacité du système de transport membranaire des sels et des ions métalliques, suite au fait que le froid endommage les pompes transmembranaires (Sarhan et Perras, 1987).
L'accumulation des protéines nouvellement synthétisées permet aux plantes de stabiliser les membranes contre les dommages occasionnés par le stress vu que ces protéines sont thermostables (Salzman *et al.*, 1996; Pearce, 1999; Zerrad *et al.*, 2006). Selon Gusta *et al.*, (1996), ces protéines, nouvellement synthétisées, agissent, en combinaison avec les hydrates de carbone solubles et d'autres composés azotés, dans l'acquisition de la tolérance aux basses températures. Selon Xin et Browse

(2000), la protection des membranes cellulaires contre l'effet du froid se réalise par un changement de la composition lipidique de la membrane. La présente étude se fixe pour objectif d'analyse le changement de la composition protéique foliaire des plantules de blé dur soumises au choc du froid, avec et sans acclimatation.

2. MATERIELS ET METHODES

Trois génotypes de blé dur (*Triticum durum*, Desf), Waha, $Martondur_3$ et $Martondur_3$/Waha ont été semés, dans des pots en plastiques de 1l de contenance, remplis de terreau, à raison de dix graines par pot. Deux pots ont été semés par génotype. Un pot par génotype a été conduit dans des conditions ambiantes du laboratoire, 20- 23°C de température moyenne le jour, 11-12 heures de photopériode et 60-65% d'humidité relative, jusqu'au stade 3-4 feuilles. Ce pot constitue le traitement non endurci (T1). Le pot restant a été soumis, après germination, à des basses températures de 3±1°C, pendant deux semaines, pour endurcissement (T2). Après quoi l'ensemble des pots, des traitements T1 et T2, a été soumis à un choc de basses températures de -5°C pendant 24 heures dans un freezer thermo réglable de marque LMS. L'expérience a été répétée trois fois, dans le temps, suit à la faible capacité volumique du freezer utilisé.

Mesures

- Teneur en chlorophylle

La teneur en chlorophylle a été déterminée sur un prélèvement de 100 mg de matière fraîche du tiers médian de la dernière feuille bien développée. Les échantillons foliaires sont broyés dans 10 ml d’acétone à 80%. Après filtration, sur du papier Whatman N°1, l'absorbance de l'extrait est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre, modèle Sontarys Techtron 635, aux longueurs d'ondes 663 et 645 nm, utilisant une cuvette en plastique de 1 ml de volume et de 1cm d'épaisseur. La concentration en chlorophylle totale, exprimée en mg l^{-1}, est déduite par la formule suivante, attribuée à Arnon (1949) par Richardson *et al.,* (2002):

$$\text{Chlorophylle totale (mg } 1^{-1}) = 20{,}2\ A_{645} - 8{,}02\ A_{663}$$

- Extraction des protéines solubles et SDS-Page

Selon Bensadoun et Weinstein (1976), il existe plusieurs variantes de la méthode d'extraction des protéines, suite à la grande variabilité des échantillons soumis à l'analyse. Le principe de base, à respecter lors de l'extraction, est de solubiliser le maximum des protéines existantes, tout en minimisant les modifications induisant des artefacts lors de l'électrophorèse.

La dénaturation des protéines doit permettre l'individualisation et la solubilisation des polypeptides par rupture des ponts di- sulfures et des liaisons hydrogène non- covalentes. Pour assurer la rupture des ponts di- sulfures, des anti-oxydants tels que le β- mercapto-éthanol sont utilisés. Des substances qui suppriment les interactions hydrophobes, tel que le sodium dodécyl sulfate (SDS) sont nécessaires pour rompre les liaisons non- covalentes (Bensadoun et Weinstein, 1976).

Dans la présenté expérience, 2 g de matière fraîche du tiers médian des feuilles bien développées sont échantillonnés et homogénéisés pendant trois minutes dans un tampon contenant 50 mM HEPES (*N*-2-Hydroxy Ethyl Piperzazine -N'- Ethane Sulfonique acide) pH 7.0, 10mM $MgCl_2$, 1mM EDTA, 10% (v/v) éthylène glycol.

Le mélange a été centrifugé pendant 15 minutes à 10000 g à 4°C. Les protéines solubles ont été précipitées dans 65% (p/v) de $(NH4)_2SO_4$ et incubées pendant 10 minutes à 100°C. Elles sont ensuite centrifugées pendant 10 minutes à 12000 g et puis précipitées de nouveau dans 65% (p/v) de $(NH4)_2SO_4$.

La quantification des protéines solubles a été faite selon la méthode de Bradford (1976). Cette méthode permet, grâce à une réaction colorée des protéines avec le bleu de coomassie, d'estimer par spectrophotométrie, à la longueur d'onde 595nm, la concentration des protéines (mg.g^{-1} MF) des extraits obtenus, par référence à une courbe d'étalonnage établie à partir d’une solution d'albumine de sérum de boeuf.

Pour ce faire on prépare, à partir d'une solution mère de sérum albumine à 1 mg/ml, des solutions de sérum d'albumine à 200, 400, 600, 800 et 1000 µg/ml dans des fioles de 50 ml. On mélange 1000 µl

de chacune de ces solutions à 200 µl de réactif de Bradford, on agite au vortex puis on mesure l'absorbance à 595 nm dans les 5 minutes qui suivent. On trace ensuite la droite:

Absorbances = F (solutions sérum albumine) entre 200 et 1000 µg/ml.

Le réactif de Bradford est préparé en dissolvant 100 mg magnésium, 2 mg de bleu de Coomassie G250 dans 50 ml d'éthanol 95%. La solution est mélangée à 100 ml d'acide phosphorique à 85% et complétée à 1 l avec de l'eau distillée. Le réactif est filtré à l'aide du papier Whatman N°1 et stocké dans une bouteille ambre à la température ambiante.
Pour le SDS-PAGE, l'extrait protéique a été solubilisé dans un tampon composé de 3% (p/v) SDS (sodium dodécyl sulfate), 10% (v/v) glycérol et 62.5 mM Tris, pH 6.8 et 5% (v/v) β- mercapto éthanol. Des échantillons de 100µl sont chargés dans les puits de l'électrophorèse de marque FISHER dans un gel de polyacrilamide de 15% (p/v).
Le gel de séparation est préparé selon Laemmli (1970), avec 375 mm Tris-HCl, pH 8.8, 0.1% (p/v) SDS, 0.05% (p/v) ammonium persulfate et 0.4 $\mu l \cdot ml^{-1}$ TEMED Le gel de concentration à 4% est préparé avec 125 mm Tris-HCl, pH 6.8, 0.1% (p/v) SDS, 0.05% (p/v) ammonium persulfate et 0.5 μl ml^{-1} TEMED.
Les gels sont retirés des plaques et colorés, pendant 2 heures, dans une solution constituée de méthanol, d'eau et d'acide acétique dans des proportions volumiques de 40:50:10 contenant du bleu de coomassie à 0,2%. Les gels sont décolorés par plusieurs lavages successifs dans une solution d'acide acétique -méthanol - eau dans les proportions 7:30:63 (Laemmli, 1970).
Les gels obtenus ont été photographiés et analysés par comparaison avec les marqueurs protéiques de différentes masses moléculaires provenant d'un kit Sigma. Ces protéines standards (marqueurs) sont la phosphorylase b de 97.4 kDa; l'albumine de sérum de boeuf de 66.0 kDa; l'ovalbumine de 43.0 kDa; l'anhydrase carbonique de 29.0 kDa; la trypsine inhibitrice du soja de 20.1 kDa et le lysozyme de 14.3 kDa.

Analyses statistiques
L’analyse des données est faite par la méthode ANOVA utilisant le logiciel Statitcf (1991). Les mesures ont fait l’objet d’une analyse de la variance à deux facteurs. L'analyse est complétée par des comparaisons multiples des moyennes par le test de la plus petite différence significative au seuil de 5 % (Steel et Torrie, 1980).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Teneur en chlorophylle

Le contenu en chlorophylle de la feuille est étroitement lié à l'activité photosynthétique, à l'accumulation de la matière sèche et au taux de la croissance relative (Poshmasari *et al.*, 2007). Il est étroitement lié, également à la concentration de l'azote de la feuille. Hussein *et al.* (2000) montrent que des concentrations chlorophylliennes et azotées foliaires élevées conduisent à une importante production de biomasse aérienne.
Le choc du froid affecte significativement le contenu en chlorophylle de la feuille. On note cependant peu de différences significatives pour le contenu chlorophyllien entre les génotypes étudiés, mais des réponses variables selon le traitement appliqué, induisant une interaction génotype x choc de froid significative (Tableau 1).
Ainsi en l'absence d'endurcissement et du choc de froid, le contenu en chlorophylle est nettement plus élevé. Sous l'effet du froid et en absence d'endurcissement, le contenu en chlorophylle est significativement réduit, comme il l'est après endurcissement. En effet les moyennes du contenu en chlorophylle sont de 16.63, 12.30 et 10.20 mg l^{-1}, respectivement pour le traitement non endurci et n'ayant pas subi de choc du froid, le traitement endurci et soumis au choc du froid et le traitement n'ayant pas subi d'endurcissement mais soumis au choc du froid (Tableau 2).

Tableau 1. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de la chlorophylle totale des trois génotypes.

Sources de la variation	ddl	Carrés moyens des écarts
Stress (S)	2	96.72^{*}
Génotypes (G)	2	16.90^{ns}
G x S	4	19.86^{**}
Résiduelle	16	0.93

ns,* et ** effets non significatifs et significatifs au seuil de 5 et 1%.

L'interaction génotype x traitement du froid indique des réponses variées dépendantes du génotype. Après endurcissement, Waha perd près de 17.9% de son contenu en chlorophylle foliaire sous l'effet du choc du froid. La réduction du contenu en chlorophylle, sous l'effet du choc du froid, est de 28.2% en l'absence d'endurcissement (Tableau 2 et Figure 1).

$Martondur_3$ perd 12.7% contre 31.7% pour les mêmes traitements, par contre la lignée $Martondur_3$/Waha est la plus affectée, avec des réductions de 34.1 et 63.1% du contenu en chlorophylle, sous l'effet du choc du froid après et sans endurcissement, respectivement (Tableau 2 et Figure 1).

Le contenu en chlorophylle donne toute l'importance à la feuille comme source productrice des hydrates de carbone. Il joue dans ce cadre un important rôle dans le processus photosynthétique. Les plantes contiennent plusieurs types de chlorophylles mais seulement les formes a et b sont impliquées dans le processus de capture de l'énergie lumineuse par les antennes réceptrices (Lichtenthaler, 1987).

Le contenu en chlorophylle est très sensible aux effets des divers stress comme la nutrition azotée, l'éclairement, la pollution de l'air, les herbicides, les hautes températures, l'intensité lumineuse et les basses températures (Lichtenthaler, 1987, Ludlow et Powles, 1988). Ainsi Colom et Vazzana (2002) mentionnent que le stress hydrique réduit significativement le contenu en chlorophylle et que la chlorophylle a est plus sensible que la chlorophylle b chez les graminées pérennes. Cette sensibilité varie selon les génotypes. En effet certains génotypes montrent une sensibilité élevée de l'appareil photosynthétique à la photo- inhibition qui fait suite à la fermeture des stomates et à la réduction de l'assimilation du CO_2 induites par le stress (Ludlow et Powles, 1988).

Tableau 2. Valeurs moyennes de la chlorophylle (mg l^{-1}) mesurée chez les trois génotypes soumis au stress

Effets			Moyennes
Stress (S)	Endurcissement + choc froid (T1)		12.30
	Pas d'endurcissement + choc froid (T2)		10.20
	Pas d'endurcissement - choc froid (T3)		16.63
		Ppds5%	03.83
Génotype (G)		$Martondur_3$	12.01
		$Martondur_3$/Waha	12.52
		Waha	14.60
		Ppds5%	03.83
S x G	T1	$Martondur_3$	12.31
	T1	$Martondur_3$/Waha	12.20
	T1	Waha	14.38
	T2	$Martondur_3$	9.62
	T2	$Martondur_3$/Waha	6.83
	T2	Waha	12.16
	T3	$Martondur_3$	14.10
	T3	$Martondur_3$/Waha	18.53
	T3	Waha	17.26
		Ppds5%	1.67

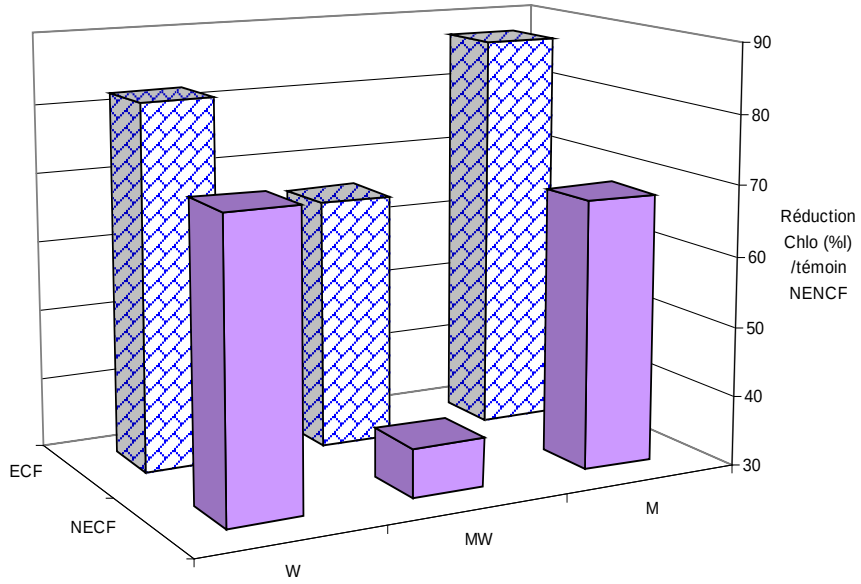


Figure 1. Réduction de la teneur en chlorophylle totale sous l'effet du choc du froid et l'endurcissement, % de la valeur moyenne du témoin non endurci et non traitement par le choc du froid (ECF = endurci + choc du froid, NECF = non endurci + choc du froid).

Heckathorn *et al.*, (1999) notent que les protéines du choc thermique, de faible poids moléculaire, des chloroplastes (cLMW_HSP) interviennent dans la stabilité du photosystème II (PSII) au cours du stress en maintenant le transfert des électrons. En ajoutant des cLMW_HSP à des chloroplastes isolés avant et après stress, Heckathorn *et al.*, (1999) montrent que les cLMW_HSP protégent le PSII de la dénaturation, adaptant le fonctionnement de ce dernier aux conditions imposées par le stress. Knight et Ackerly (2001) rapportent une corrélation positive entre l'expression des cLMW_HSP et la fluorescence chlorophyllienne, ce qui supporte l'hypothèse que le rôle des cLMW_HSP est de maintenir l'activité de transfert des électrons du PSII sous stress.

Les résultats de la présente étude indiquent que le choc du froid induit une réduction significative du contenu en chlorophylle. Cette réduction est, cependant, relativement moindre après endurcissement. Les réponses varient en fonction des génotypes et du traitement imposé. Après endurcissement Martondur affiche un contenu en chlorophylle plus stable que sans endurcissement. L'endurcissement améliore la stabilité de la chlorophylle de Waha comparativement au traitement sans endurcissement.

La chlorophylle de Martondur$_3$/Waha est la plus instable sous choc du froid, après ou sans endurcissement. Ces résultats suggèrent que le génotype Martondur répond mieux à l'endurcissement et qu'il porte des gènes induisant l'expression cLMW_HSP qui protégent le PSII des effets du stress, rendant la chlorophylle relativement plus stable sous l'effet des basse températures.

3.2. Teneurs en protéines solubles

L'analyse de la variance des protéines solubles montre des effets stress, génotype et une interaction stress x génotype significatifs (Tableau 3). Ces résultats indiquent que l'endurcissement active l'accumulation des protéines solubles, cependant les génotypes évalués répondent différemment à l'endurcissement (Tableaux 3 et 4). Ainsi après endurcissement, et en moyenne des trois génotypes, la quantité des protéines totales est de 38.6% supérieure à celle notée chez le traitement non endurci et soumis au choc du froid.

Tableau 3. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des protéines solubles accumulées chez les trois génotypes sous l'effet du choc du froid, avec et sans endurcissement.

Sources de la variation	ddl	Carrés moyens des écarts
Stress (S)	1	465.32**
Génotypes (G)	2	129.18**
G x S	4	105.48**
Résiduelle	16	6.25

** effets significatifs au seuil de 1%.

Tableau 4. Valeurs moyennes des protéines solubles (mg/ml) mesurée chez les trois génotypes soumis au choc du froid avec et sans endurcissement.

Effets			Moyennes
Stress (S)	Endurcissement + choc froid (T1)		36.51
	Sans endurcissement + choc froid (T2)		26.34
	Ppds5%		02.62
Génotype (G)		$Martondur_3$	27.23
		$Martondur_3$/Waha	36.41
		Waha	30.64
		Ppds5%	03.21
S x G	T1	$Martondur_3$	29.07
	T1	$Martondur_3$/Waha	46.25
	T1	Waha	34.21
	T2	$Martondur_3$	25.39
	T2	$Martondur_3$/Waha	26.56
	T2	Waha	27.07
		Ppds5%	04.55

En moyenne des traitements du froid, $Martondur_3$/Waha accumule significativement plus de protéines, ce génotype est suivi par Waha et en dernière position $Martondur_3$ avec des moyennes respectives de 36.41, 30.64 et 27.23 mg/ml (Tableau 3). L'interaction stress x génotype indique qu'après endurcissement $Martondur_3$/Waha accumule le plus de protéines. En absence d'endurcissement, cette même lignée ne se démarque pas des deux autres génotypes testés (Figure 2 et Tableau 4).

3.3. SDS-PAGE

La comparaison des profiles électro phorétiques sur gel de polyacrylamide met en évidence des différences entre variétés et traitements de froid (Figure 3). Ces différences sont d’ordres quantitatifs et qualitatifs. En effet les bandes protéiques diffèrent en nombre et en intensité (Figure 3). Par ailleurs, on relève la présence de protéines de différents poids moléculaires variant de 6.5 à 205 kDa (Figure 3) Pour Waha, on note des différences entre le traitement endurci (WE= 1) et le traitement non endurci (WNE= 2). L'endurcissement induit, chez ce génotype, la synthèse *de novo* d'une protéine de faible poids moléculaire dont la masse est proche de 45 kDa (repère 1). L'endurcissement accentue, aussi, chez ce même génotype, l'accumulation d'une protéine de faible poids moléculaire dont la masse est de 6.5 kDa (repère 2).

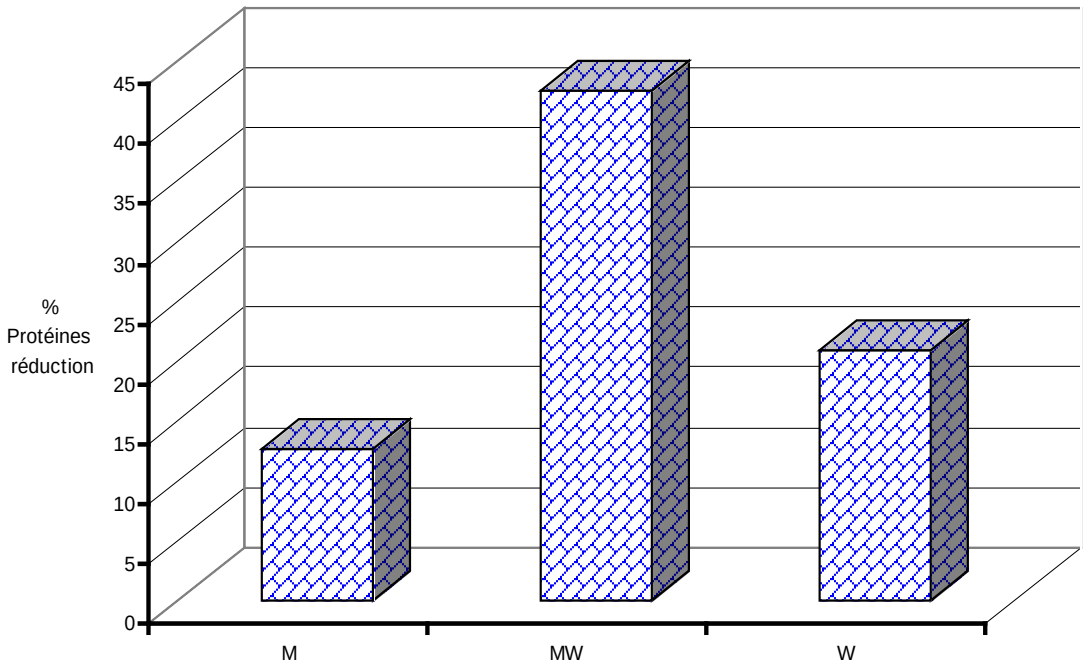


Figure 2. Pourcentage de réduction des protéines solubles sous le choc du froid, en absence d'endurcissement, chez les trois génotypes étudiés.

L'analyse des profils des protéines accumulées chez Martondur$_3$/Waha (M/WE= 3, M/WNE= 4) fait apparaître une surexpression d'une protéine de haut poids moléculaire, de l'ordre de 116 kDa, en absence d'endurcissement et la répression de l'expression d'une protéine d'un poids moléculaire de 30 kDa, après endurcissement (Figure 3). L'analyse des profils des protéines accumulées chez Martondur$_3$ (ME =5, MNE =6) n'indique pas de changement dans le nombre de bandes, mais une surexpression des protéines après endurcissement, comparativement au traitement non endurci (Figure 3).

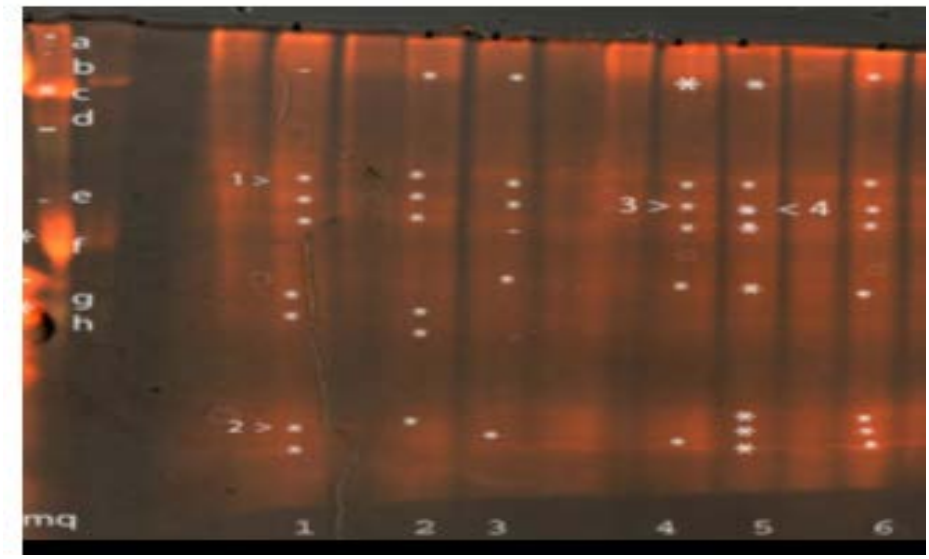


Figure 3. Réponse protéique des trois cultivars soumis au choc du froid
(1=WE, 2=WNE, 3= M/WE, 4 =M/WNE, 5= ME, 6= MNE)

Ces résultats corroborent avec ceux de Sarhan et Perras (1987) observent, suite à l'analyse des profils électrophorétiques des protéines solubles, que l'acclimatation au froid induit des changements dans la

nature des protéines solubles accumulées chez le blé, avec une prépondérance des protéines de haut poids moléculaires, dans le voisinage de 200 kDa.

L'accumulation de ces protéines chez les génotypes tolérants comparativement aux génotypes sensibles suggère l'existence d'une corrélation entre la tolérance au froid et l'accumulation de ces protéines spécifiques. Ces mêmes auteurs observent l'augmentation de l'intensité d'accumulation de trois protéines dont les poids moléculaires sont de 48, 47 et 42 kDa.Par contre l'intensité de cinq autres protéines, dont le poids moléculaire varie de 93 à63 kDa, diminue au cours de l'endurcissement (Sarhan et Perras, 1987).

Ces changements sont interprétés comme faisant suite à l’ajustement métabolique en réponse aux basses températures, plutôt que des changements spécifiques liés au développement du processus d'endurcissement. L'acclimatation des plantes au froid est un processus actif résultant de l'expression de nombreux mécanismes physiologiques et métaboliques d'adaptation aux basses températures.

Parmi les changements métaboliques les plus importants observés sous basses températures, on note l'accumulation des hydrates de carbones, des protéines, des acides nucléiques, des acides aminés et des hormones régulatrices de la croissance (Gusta *et al.*, 1996). Plusieurs résultats des recherches suggèrent que l'accumulation des sucres en combinaison avec les protéines nouvellement synthétisées, protègent les protéines et les membranes de la dénaturation par le froid (Dionne *et al.*, 2001). Houde *et al.*, (1992) trouvent une corrélation entre l'accumulation des protéines thermostables de type WC_{120} et l'induction de la tolérance au froid chez le blé tendre.

En comparant les profils des protéines extraites, Parida *et al.*, (2004) notent que les polypeptides 31, 30, 27, 16 et 13 kDa forment l'essentiel des protéines présentes dans les plantes non acclimatées. Les mêmes profiles des protéines sont présents chez les plantes acclimatées avec, cependant, une forte intensité des polypeptides 30 et 31 chez les génotypes tolérants et la synthèse *de novo* d'un polypeptide de 26 kDa.

Parida *et al.*, (2004) mentionnent que le contenu protéique foliaire détroit graduellement sous l'effet de l'intensité du stress salin. Cette diminution des protéines totales est attribuée à l'activité croissance des protéases sous stress et se fait au profit d'une augmentation des acides amines. L'hydrolyse des protéines par des protéases libère les acides aminés qui jouent un rôle dans l'ajustement osmotique.

Yen *et al.*, (1997) observent, également, l'accumulation de cinq polypeptides, au poids moléculaire de 40, 34, 32, 29 et 14 kDa, sous stress salin. Ces polypeptides diffèrent du point de vue rapidité d'induction après imposition du stress. Trois polypeptides, aux masses moléculaires 40, 34, 29 kDa, apparaissent rapidement (réponse précoce) et les deux autres, dont la masse moléculaire est de 32 et 14 kDa, apparaissent plus tardivement (réponse tardive). Guy et Haskell (2005) identifient plusieurs polypeptides de haut poids moléculaires dont la synthèse et la présence dans le tissu foliaire étaient significativement corrélées avec l'induction de la tolérance au froid. Ils établirent que des changements d'expressions géniques ont lieu au cours de l'acclimatation conduisant à la synthèse de nouvelles protéines en réponse au froid. Dionne *et al.*, (2001) notent que le génotype tolérant accumule plus de protéines que le sensible chez le ray grass annuel (*Poa annua* L.).

Les résultats de la présente étude indiquent que l'endurcissement induit par les basses températures 2/4°C affecte le contenu en chlorophylle qui est significativement réduite chez les trois génotypes. Cette réduction est accentuée pour ce caractère sous choc thermique. A l’opposé, on constate que l’endurcissement, active la synthèse des protéines solubles chez les trois génotypes.

L’analyse des profils protéiques révèle une réponse variée pour les trois génotypes étudiés. A ce sujet, on note l’apparition de nouvelles bandes chez Waha ; une répression d’une bande pour $Martondur_3$/Waha à une surexpression de bande pour le cultivar $Martondur_3$.

4. CONCLUSION

Le teneur moyenne en chlorophylle est peu variable chez les trois génotypes étudiés. Par contre, on enregistre une variation chez les traitements. Mettant en relief, l’effet de l’endurcissement et du choc thermique provoqué par les basses températures sur la réduction du contenu chlorophyllien.

La synthèse des protéines totales révèle des variations à la fois entre cultivars et au sein des traitements appliqués (endurcissement + stress, stress sans endurcissement). Expliquant en partie, la variabilité génotypique. La lignée $Martondur_3$//Waha se distingue par un dynamisme remarquable en accumulant plus de protéines après endurcissement. Cette réponse, semble être due à sa capacité de tolérance au froid.

L’analyse électrophorétique a révélée des différences quantitatives et qualitatives entre des traitements et au sein génotypes étudiés. Cette différence est matérialisée par la présence de protéines de différents poids moléculaires variable. A ce sujet, après endurcissement, on note l’apparition de bandes de faibles poids moléculaires chez Waha. L’endurcissement fait apparaître une protéine de poids moléculaire assez important chez le cultivar Martondur$_3$/Waha.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Bensadoun, A. and Weinstein D. (1976) : Assay of proteins in the presence of interfering materials. *Anal. Biochem*. 70: 241-250.

-Bradford, M. M. (1976) : A rapid and sensitive method for the quantitative of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye *Anal. Biochem*. 72: 248-254.

-Colom, M.R. and Vazzana, C. (2002) : Water stress effects on three cultivars of *Eragrostis curvulaItal. J. Agron., 6:* 127-132.

-Danyluk, J., Carpentier, E. and Sarhan, F. (1996) : Identification and characterization of a low temperature regulated gene encoding an actin-binding protein from wheat. FEBS Letters 389: 324-327.

-Dionne, J., Castonguay, Y., Nadeau, P. and Desjardins, Y. (2001) : Amino acid and protein changes during cold acclimation of green-type annual bluegrass (*Poa annua* L.) ecotypes. *Crop Sci.* 41:1862–1870.

-Gusta, L.V., R.W. Wilen, and P. Fu. (1996) : Low-temperature stress tolerance: The role of abscisic acid, sugars, and heat-stable proteins. *Hortscience* 31:39–46.

-Guy, C.L., and Haskell, D. (2005) : Detection of polypeptides associated with the cold acclimation process in spinach. *Electrophoresis*, 9: 787-796.

-Heckathorn, S. A., Downs, C. A., Sharkey, T. D. and Coleman, J. S. (1998) : The small methonine-rich chloroplast heat-shock protein protects photosystem II electron transport during heat stress. *Plant Physiology* 116: 439–444.

-Heckathorn, S. A., Downs, C. A. and Coleman, J. S. (1999) :. Small heat shock proteins protect electron transport in chloroplasts and mitochondria during stress. *American Zoologist*, 39: 865–876.

-Hussein, F., Bronson, K. F., Singh, Y., Singh, B. and Peng S. (2000) :Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. *Agron. J.* 92: 875-879.

-Houde, L.M., R.S. Dhindsa & F. Sarhan. (1992) : A molecular marker to select for freezing tolerance in gramineae. *Mol. Gen. Genet* 234 : 43-48.

-Knight, C.A. and Ackerly, D. D. (2001) : Correlated evolution of chloroplast heat shock protein expression in closely related plant species. *American Journal of Botany*, 88:411-418

-Lichtenthaler, H. K. (1987) : Chlorophyll’s and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes. Methods in *Enzymology* 148: 350–382.

-Ludlow, M.M. and Powles, S.B. (1988) : Effects of photoinhibition induced by water stress on growth and yield of grain sorghum. *Aust. J. Plant Physiol.*, 15: 179-194.

-Parida, A. K., Das, A. B., Mittra, B. and Mohanty, P. (2004) : Salt-stress Induced Alterations in Protein Profile and Protease Activity in the Mangrove *Bruguiera parviflora*. *Z. Naturforsch. 59*:408-414.

-Pearce, R.S. (1999) : Molecular analysis of acclimation to cold. *Plant Growth Regulation* 29: 47-76.

-Poshtmasari, H. K., Pirdashti, H., Nasiri, M. and Bahmanyar, M. A. (2007) : Chlorophyll content and biological yield of modern and old rice cultivars under different urea fertilizer rates and applications. *Asian Journal of Plant Sciences* 5:1-7.

-Richards, R.A. Rebetzke, G.J. Condon, A.G. and Van Herwaar-Den, A.F. (2002) : Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci. 42*:111–121.

-Salzman, R.A., R.A. Bressan, P.M. Hasegawa, E.N. Ashworth, and B.P. Bordelon. (1996) : Programmed accumulation of LEA-like proteins during desiccation and cold acclimation of overwintering grape buds. *Plant, Cell Environ.* 19:713–720

-Sarhan, F. and Perras, M. (1987) : Accumulation of a high molecular weight proteinduring coldhardening of wheat (*Triticum aestivum L.*). *Plant and Cell Physiology*, 28:1173-1179..

-Statitcf. (1991) : Logiciel de statistique. Version 5, 0. *Edition ITCF*.

-Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. (1980) : Principles and procedures of statistics, a biometrical approach. *Ed. Mc Graw Hill Inc*. NY. 633 pp.
-Thomashow, M. F. (1999) : Plant cold acclimation, freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. *Plant mol.* 50: 571-599.
-Xin, Z., and Browse, J. (2000) : Cold comfort farm: The acclimation of plants to freezing temperatures. Plant Cell Environ.23:893–902.
-Zerrad, W., Hillali, S., Mataoui,B. S., El Antri, S. et Hmyene, A. (2006) : Etude comparative des mécanismes biochimiques et moléculaire de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. Actes *Congrès International de Biochimie*; Agadir, 09-12 Mai 2006: 6p.

Impact of deficit irrigation with saline water on yield, soil salinization and water productivity of barley in arid regions of Tunisia

Fathia El Mokh, Kamel Nagaz
Laboratoire d’Aridoculture et Cultures Oasiennes
Institut des Régions Arides de Medenine, 4119 Tunisia.
Email: fathiamokh@yahoo.fr

SUMMARY
Field studies were conducted for two years to determine the effects of irrigation regimes with saline water (7.6 dS/m) on soil salinity, yield and water productivity of barley in the arid region of Tunisia. Barley was grown on a sandy soil and drip-irrigated with well water having an ECi of 7.6 dS/m. For two years, a complete randomized block design with three replicates was used to evaluate five irrigation regimes. Full treatment (FI) was irrigated with an amount equal to 100% of cumulated crop evapotranspiration (ETc), DI-50 treatment irrigated at the same frequency as FI treatment but with quantity equal to 50% of accumulated ETc during growing period and deficit irrigation during tillering stage (DI-Dev), maturity (DI-Mat) and both stages (DI-Dev+Mat). The results showed that soil salinity was significantly affected by irrigation treatments. Higher soil salinity was maintained in the root zone with DI-50treatment than full irrigation (FI). DI-Dev, DI-Dev+Mat and DI-Mattreatments resulted also in low ECe values. This highest soil salinity accompanied with DI-50 treatment reduced barley yield significantly. However, regulated deficit treatments provide acceptable yields compared to full irrigation treatment. Water productivity (WP) obtained in field experiments corresponds with values reported in the literature and was affected by irrigation treatments. The lowest WP values occurred under the FI treatment, while the highest values were obtained under DI-50 deficit irrigation treatment. However, the difference between FI, DI-Dev, DI-Mat and DI-Dev+Mat treatments was not significant. The full irrigation (FI) and deficit irrigation (DI-Dev, DI-Mat and DI-Dev+Mat) strategies were found to be a useful practice for scheduling barley irrigation with saline water under the arid Mediterranean conditions of southern Tunisia.
Key words:arid, salinity, deficit irrigation, barley, yield, water productivity

1. INTRODUCTION
Water shortage is one of the most important factors limiting the crop production in the world (Umar 2006). In the Mediterranean regions, low rainfall and high temperatures along with high salinity of irrigation water often affect agricultural productions as a result of drought and salinity stress (Paranychianakis and Chartzoulakis 2005).This is especially the case in the arid regions of Tunisia where limited supplies of good quality waters and the increasing needs for agriculture intensification are forcing farmers to use high saline waters. Irrigation of a wide range of crops is actually expanding around a shallow well having salinity level more than 5 dS/m. However, productivity is usually low and irrigation is applied on routine basis without scheduling and provision drainage. This may carry the danger of a rapid soil salinization because of increased salt input. Therefore, innovations are needed to increase the productivity of water that is available. One way to overcome the water shortage and optimize saline water use is through development of a new irrigation scheduling such as deficit irrigation which is not necessarily based on full crop water requirements.
Zhang et al. (2004) found that severe soil water deficit (SWD) decreased grain yield of winter wheat, while slight SWD throughout the growing season did not reduce grain yield or water productivity. This result indicates that water supply can be reduced somewhat without significant decrease in grain yield. Moreover, investigations conducted by English (1990) and Zhang et al. (2002) show that deficit irrigation can increase the net farm income.
Barley, considered as a tolerant plant (Maas and Hoffman, 1977), occupies large cultivated areas in arid part of Tunisia. Many experiments have been conducted on barley cultivated in small private farms in southern Tunisia (Nagaz et Ben Mechlia, 2003) and the results demonstrate the potential of irrigation management practices in reducing the effects of salinity on both yield and soil salinity. In addition, Khalil et al. (2007) showed that yield reduction under deficit irrigation during the whole growing season was about 5% and 20% of the total irrigation water was saved. Field study conducted by Nagaz et al. (2008) showed that a reduction of 15% of total irrigation wateroffer significant

advantage for both barley yields and WUE and reduce the build-up of salinity compared to a reduction about 50 and 30 % of water in barley production under arid conditions. As result, this restriction of 15% can be used as deficit irrigation strategy of barley in case of situations where water supply is limited.

The objective of this study was to make quantitative assessments of both salt accumulation in the soil and yield response to full and deficit irrigation strategies with saline water in order to derive an irrigation strategy that save water in irrigated barley, reduce salt input and improve water productivity under the arid Mediterranean conditions of southern Tunisia.

2. MATERIALS AND METHODS

Field experiments were carried out at the experimental station of Arid Lands Institute (IRA-Médenine) in southern Tunisia during the growing season (2008-2009) and (2011-2012) on a well-drained sandy soil (85 % sand, 5 % clay et 10 % loam) with low organic matter concentration (< 8 g/kg). The soil water content at field capacity and wilting point are 12.3 % and 6.1%, respectively, and a bulk density of about 1.61 g/cm^3. The total available water for an assumed barley root extracting depth 0.8 m is 78 mm.

Five irrigation treatments were set up in a randomized complete block design with three replicates. The full irrigation treatment (FI) irrigated with a quantity equal to 100% of cumulative crop evapotranspiration (ETc); the second treatment irrigated at the same frequency as treatment FI but with quantity equal to 50% of accumulated ETc (DI-50) during the whole growing period. The water restriction was also applied during tillering (DI-dev), maturity (DI-Mat), and both stages (DI-Dev+Mat). Barley (cv. Ardhaoui**)** seeds were sown during second and fourth weeks of November, respectively, for the first and second years in six rows 50 cm apart in each elementary plot. Plants were irrigated using drip system with shallow well water having an ECi of 7.6 dS/m (Table1). Treatments were applied after the plants established. Fertilizers were supplied for both years in the same amounts; before planting, soil was spread with 8.3 t.ha^{-1} of organic manure, Nutrient supply included N, P and K at rates of 300, 300 and 200 kg.ha^{-1}, respectively, which were adopted from the local practices. The P and K fertilizers were applied as basal dose before planting. Nitrogen was divided and delivered with the irrigation water in all treatments during early vegetative growth.

The crop water requirement was calculated using water balance method by means of spreadsheet program developed for Excel in order to estimate the irrigation timing and amount based on cumulative soil water depletion. The crop evapotranspiration (ET_C) was estimated for daily time step by using ETo combined with a crop coefficient. ETo was estimated daily following the FAO-56 Penman-Monteith method given in Allen et al. (1998) and Kc was computed following the dual crop coefficient approach that provides for separate calculations for transpiration and evaporation from soil.

For both years, soil salinity was monitored at initial, middle and harvest of cropping period. The soil salinity in the root zone was expressed by the electrical conductivity of the saturated soil extract, ECe. For each elementary plot, soil was sampled with a 4 cm auger every 20 cm to a depth of 80 cm, at three sites perpendicular to the drip line and at three sites between the emitters. Conceptually, these should be areas representing the range of salt accumulations (Bresler 1975; Singh et al.1977).

Table 1. Chemical composition of irrigation water (meq/l).

ECi (dS.m^{-1})	$Ca^{++}+Mg^{++}$	Na^{+}	K^{+}	$Co_3^{2-}+HCo_3^{-}$	So_4^{2-}	Cl^{-}	SARiw
7.6	26.4	48.8	1.4	4.2	32.2	40.0	13.4

For both seasons, plant growth was monitoring through measuring the canopy. To this end, one square meter was selected randomly and photos were taken using a numerical camera therefore analyzed to determine the percentage of cover using Green Crop Tracker software.

At harvest, biomass and grains yield for each elementary plot were determined.

WP is generally defined as yield/ET, but economists and farmers are most concerned about the yield per unit of irrigation water applied. Thus, the WP was calculated as follow: WP (kg/ha/mm) = Yield (kg/ha)/applied irrigation (mm) from planting to harvest; an irrigation of 78 mm applied before planting date is not included in the total amount.

Analysis of variance was performed to evaluate the statistical effect of irrigation treatments on soil salinity, barley growth, yield and WP using the STATGRAPHICS *Plus* 5.1. LSD test at 5% level was used to find any significant difference between irrigation treatments means.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Soil water depletion

Figure 1 illustrates soil water depletion, estimated by the spreadsheet program and measured periodically by gravimetric method, under FI and deficit irrigation treatments during second year. The spreadsheet program uses water balance equation and supplies information’s on irrigation timing and amount. This figure illustrates the effect of an increasing root zone on the readily available water. The rate of root zone depletion at a particular moment in the season is given by the net irrigation requirement for that period. Each time the irrigation water is applied, the root zone is replenished to field capacity.

Irrigation scheduling based on SWB method maintains the soil water depletion between threshold (RAW) and field capacity. The slight water deficit observed at the day prior to irrigation was due to the fact that the irrigation is applied only when soil water depletion at the end of the previous day exceeds to the readily available water (RAW). For FI treatment, barley plants were maintained under optimal water conditions by replenishing the root zone to field capacity. Irrigation scheduling based on crop water requirements and soil characteristics results in varying irrigation amounts and intervals adapted to requirements change during crop cycle and then allow for applying water when needed. In the case of DI-50 treatment, the water deficit began approximately 105 days after plantation and it was maintained until the harvest of barley. Thus, with DI-50 treatment where irrigation is applied lower than full crop water requirements will make use of stored soil moisture and the water stored in the soil is gradually depleted by ETc.

The evolution of soil water depletion was compared between two methods (SWB model and gravimetric) for full irrigation treatment (FI). It was observed that there is a good agreement between two methods with R^2 of 0.95 (Figure 2) and the differences doesn’t seem to be significant. Therefore, the developed model appears to be reliable to predict the soil water depletion in order to provide information for an adequate water management.

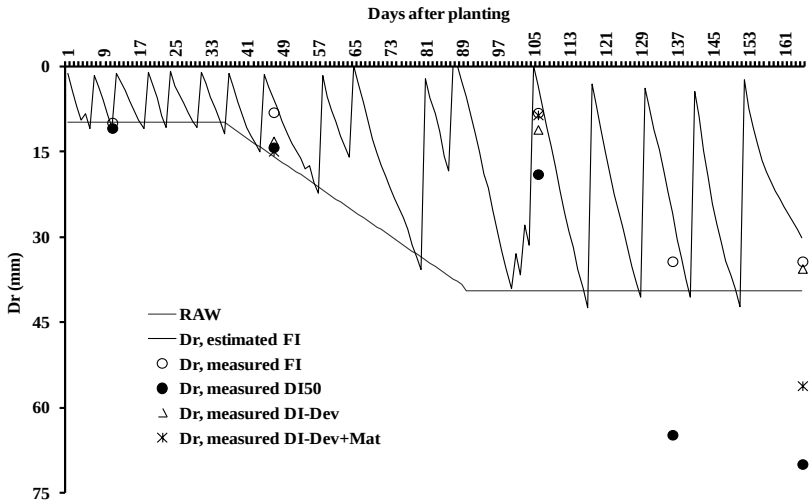


Figure 1. Estimated and measured soil water depletion during second barley cropping period

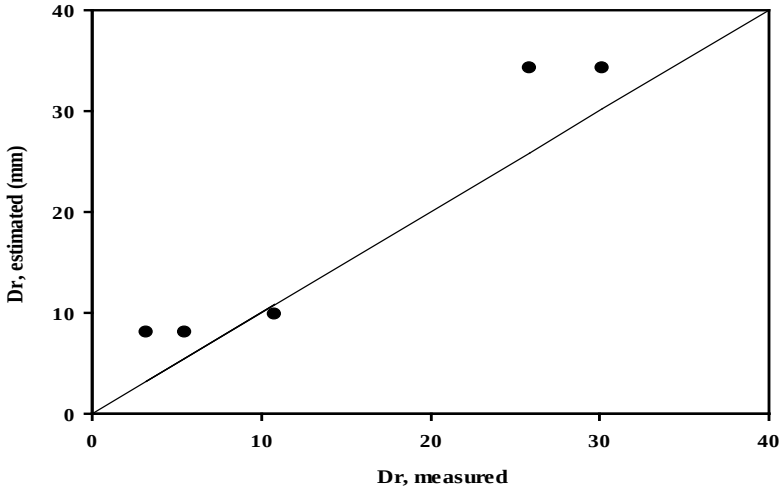


Figure 2. Soil water depletion (Dr) comparison between SWB model and gravimetric method.

3.2. Soil salinity

Soil salinity was determined before and during the cropping cycle for both seasons to evaluate the impact of deficit irrigation strategies on the soil salinization (Figure 3). The initialsoil salinity values measured at sowing were 5.7 and 8.1dS/m, respectively, for the first and second seasons. The highest ECe value observed in the second season could be explained by continuous irrigation with saline water during previous years.

The results show that there was a decrease in soil salinity measured in the root zone (0-80 cm) for the majority of irrigation treatments compared to initial soil salinity. During the first year, the ECe decreases from 5.7 at plantation to approximately 5.2 dS/m at the mid-season stage for FI and DI-Mat treatments.

Full irrigation treatment (FI) registered in the second year a small decrease in ECe from 8.1 to 7.7 dS/m in 106 DAS and also for DI-Dev+Mat treatments. These results show that full irrigation (FI) and deficit treatments (DI-Dev, DI-Dev+Mat and DI-Mat) seem to benefit from leaching of added salts by rains received (89.5 mm) during initial and development stages during the first year and mainly in the mid-season stage (70 mm) in second year (Figure 3). The ECe value (8.5 dS/m) recorded under DI-50 at 106 DAS could be also explained by leaching ensured by rains received during the mid-season stage (Figure 3).

The soil salinity measured at harvest was higher in the second year as a consequence of cumulative salt accumulation besides the increase of soil evaporation and the absence of rainfall events during the sampling period. The capacity of winter rainfall to leach salts is variable and depends on the total amount and distribution of rainfall events. This is illustrated by the lowest ECe values observed in the first year which corresponds to the amount rainfall received at the end of season (Figure 3) that seemed to be effective in removing salts accumulated in the root zone.This increase can be explained by sampling date which corresponds to period of high evaporation demand.

Continuous deficit irrigation practice (DI-50) increases the salts accumulation in the root zone. The ECe values increases from 5.7-8.1 dS/m to 7.4-9.2 dS/m for the 1st and 2^{sd} year, respectively. The increase in soil salinity for DI-Mat seems however to be less important than that observed with DI-Dev and DI-Dev+Mat treatments (Figure 3). Although salts amount added to the soil with FI are higher than DI-50, the soil salinity remains lower than the deficit irrigation treatment. This is probably due to a situation of drainage which ensures the evacuation of salts beyond the studied depth of 80 cm. A deficit of 50% during maturity stages keeps low salinity value in the root zone with limited impact on the yield. Schoups et al. (2005) reported that one consequence of reducing irrigation water use by deficit irrigation is the greater risk of increased soil salinity due to reduced leaching.

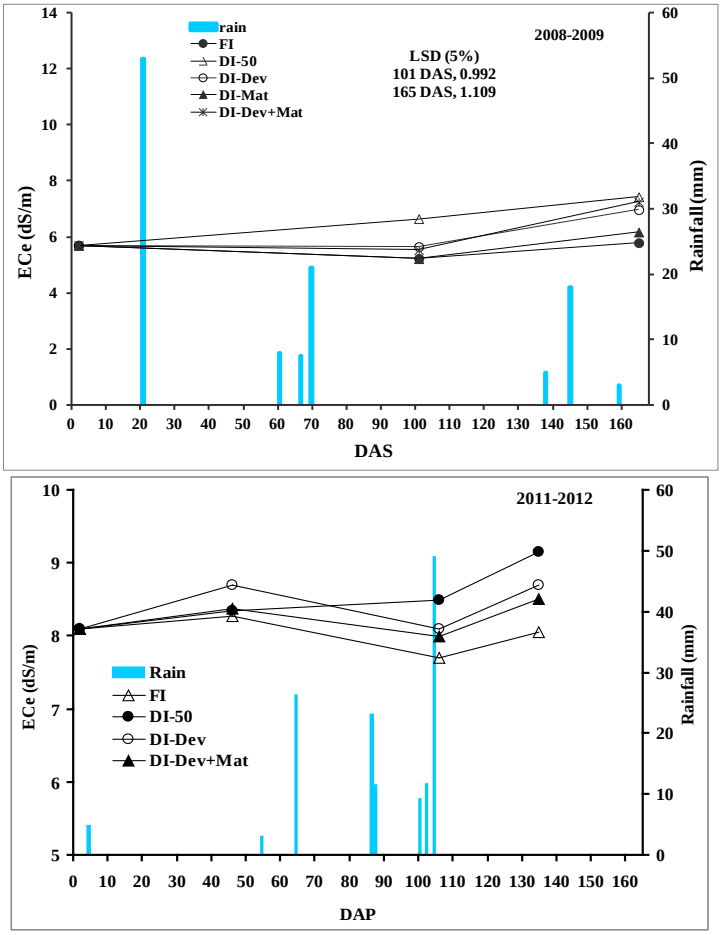


Figure 3. Soil salinity under different irrigation treatments for both years (2008-2009 and (2011-2012) with rainfall distribution.

3.3. Canopy cover

Figure 4 show barley growth expressed by canopy cover (CC) measured under different irrigation treatments (2011-2012). The maximum canopy cover (74.8%) was reached in the 98 day for all treatments. There is a significant difference between the full treatment and the more restrictive one (DI-50) while for the CC values measured in 134 DAS the difference were significant between FI and other treatments. This difference could be explained by the early senescence induced by the water stress for the deficit treatment (DI-50, DI-Dev, DI-Dev+Mat and DI-Mat). This result was also mentioned by Araya et al. (2010) and Salemi et al. (2011).

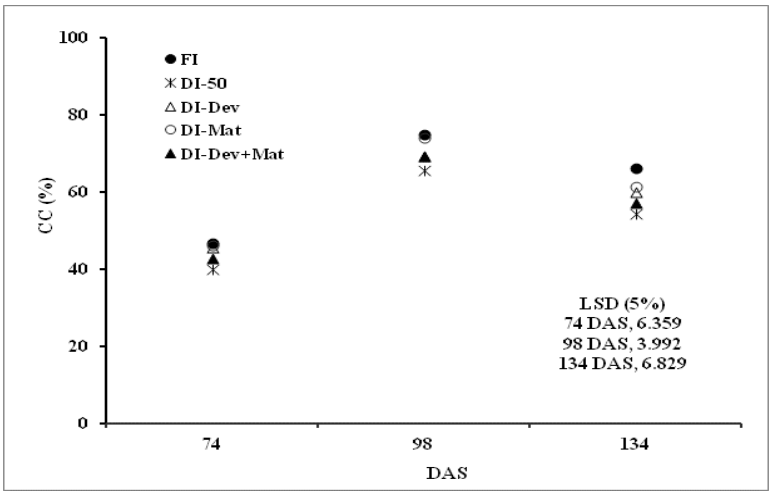


Figure 4. Barley green canopy cover percentage under different treatments.

3.4. Crop yields

The analysis of variance shows a significant effect of the applied treatments on the final biomass and grain yield. The results show that the highest grain yield and biomass were obtained with FI treatment (3.8-3 t/ha and 8.4-8.6 t/ha) followed by DI-Mat (3.7-2.7 t/ha and 8.1-7.7 t/ha) and DI-Dev (3.5-2.6 t/ha and 7.7-7.5 t/ha) in the first and second years, respectively. Thus, Barley biomass was affected significantly under continuous deficit irrigation (DI-50) compared to FI and DI-Mat. Previous studies have shown that moderate water deficit during the vegetative and maturity stages don’t have significant effects on dry matter accumulation of barley and wheat (Jamieson et al., 1995).

The reduction in grain yield associated with the treatment DI-50 was mainly attributed to a significant reduction in yields components (data not presented) as a consequence of water shortage during flowering and grains formation. Indeed, continuous deficit irrigation (DI-50) caused a reduction in the tillers number and subsequently a reduction in the number of spikes per m².

Due to its effect of reducing the build-up of salinity the DI-Mat and DI-Dev treatments resulted in barley yields comparable with those obtained under FI treatment. Barley crop productivity is most sensitive to water stress during jointing, flowering and grain filling (Sepaskhah, 1978; Weltzien and Srivastava, 1981; Ceccarelli, 1987; Baheri et al., 2005). Note that the DI-50 and DI-Dev+Mat deficit irrigation strategies result in higher salinity in the rooting zone than full irrigation strategy (Figure 3). The higher salinity associated with deficit irrigation strategies (DI-50 and DI-Dev+Mat) were sufficient to cause reduction in yield of barley.

Water deficit conditions can aggravate the stress placed on plants growing under saline conditions. Successful use of saline waters for irrigation purposes will be linked to irrigation management that eliminates soil moisture deficit conditions (Bresler *et al*., 1982; Shalhevet, 1984). Barley has been described as a highly salt-tolerant crop (Maas and Hoffman, 1977). Therefore, under conditions of water shortage, the irrigation of the barley can be reduced during development and/or maturity stages.

Yields obtained under regulated deficit irrigation (DI-Mat, DI-Dev and DI-Dev+Mat) are slightly lower those obtained with full irrigation (FI). However, the difference increases significantly with continuous deficit irrigation treatment (DI-50). Thus, deficit irrigation applied during development and maturity stages (DI-Mat, DI-Dev and DI-Dev+Mat) provides a means of reducing water use (Table 2) without affecting significantly the yields. These results obtained under the prevailing climatic conditions support the practicality of the DI-Mat, DI-Dev and DI-Dev+Mat irrigation strategies to facilitate the use of saline water for irrigation of barley.

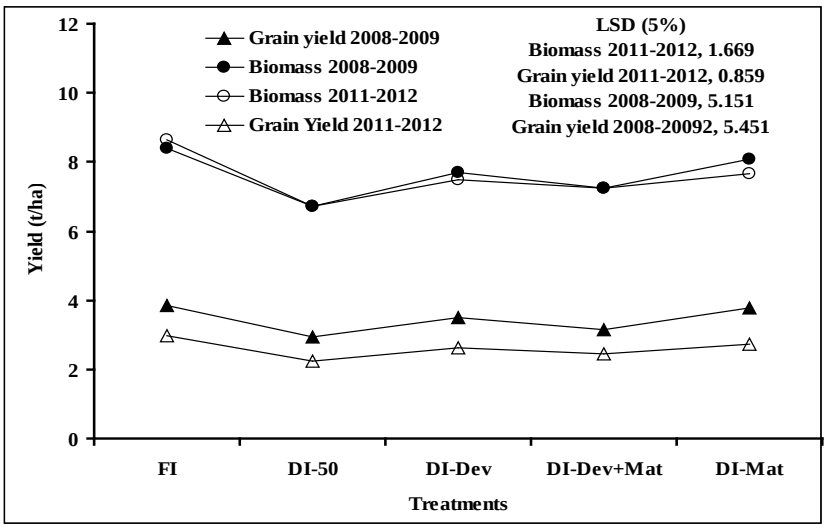


Figure 5. Grain yield and biomass under different irrigation treatments

3.5. Water productivity

The WP for grain yield and dry matter production (WPg, WPd) is presented in Table 2. The highest irrigation and total water productivity (IWP, TWP) values were obtained in the second season (2011-2012) with, respectively, 35.4 and 18.1 kg/m^3. Higher IWPg values were observed in the second season despite the reduction of grain yields. They ranged between 14.3 and 18.6 kg/m^3 across different

treatments. This is mainly due to the reduction of irrigation amount that was compensated by the increase and well dispersion of rainfall that occurred during the season 2011-2012 (138 mm).
For both seasons, WPg values were highest for DI-50 treatment although there is no significant differences ($p<0.05$) between FI, DI-Dev, DI-Mat and DI-Dev+Mat treatments. The values of WP based on dry matter in 2011-2012 season were higher than those observed during the first season’s as consequence of important amount of rain recorded (138 mm). The WP values obtained are comparable with those obtained in other field studies (Bhutia and Singh, 1990; Hussain and Al-Jaloud, 1998; Nagaz and ben Mechlia, 1998, 2000) and were affected by irrigation treatments.
Barley yields obtained under FI treatment are comparable with those obtained with DI-Dev and DI-Mat treatments. The last two treatments gave also high IWP values as compared to full treatment (FI). The deficit irrigation treatment with less irrigation water of about 22% (DI-Dev+Mat) gives WP values comparable with those obtained under FI, D-Dev and DI-Mat treatments. Therefore, the results show that irrigation water requirements for barley crop can be reduced without a significant yield reduction by adopting deficit irrigation strategies during development and maturity stages (DI-Mat, DI-Dev and DI-Dev+Mat).

Table 2. Water productivity (WP, kg/ha/mm) under different irrigation treatments

Treatments	IWPd	IWPg	TWPd	TWPg
		2008-2009		
FI	13.47	11.36	10.04	8.47
DI-50	22.36	17.32	13.28	10.30
DI-Dev	13.82	11.48	10.01	8.32
DI-Mat	14.58	12.71	10.50	9.15
DI-Dev+Mat	15.53	12.00	10.78	8.33
LSD (5%)	1.844	1.317	1.839	1.289
		2011-2012		
FI	24,46	14,38	15,7	9,23
DI-50	35,4	18,62	18,12	9,53
DI-Dev	25,82	14,87	1711	9,01
DI-Mat	30,35	16,39	17,12	9,24
DI-Dev+Mat	27,1	15,58	16,46	9,46
LSD (5%)	7.497	6.601	5.384	3.301

4. CONCLUSIONS

This two-year field study indicated that barley yield was affected by irrigation treatments. Barley grain yields obtained under DI-50 deficit treatments were significantly lower than those obtained with full irrigation treatment (FI). Dry matter production was affected by irrigation treatments especially with DI-50. The higher salinity associated with the deficit irrigation treatments were sufficient to cause reduction in barley yield and yield components. The water productivity (WP) for grain yield was significantly affected by irrigation treatments. The lowest values occurred under FI treatment, while the highest values were obtained under DI-50 deficit treatment. The relatively high yields and water productivity values noted under DI-Dev, DI-Mat and DI-Dev+Mat treatments indicate the high potential of barley crop to valorize irrigation waters of limited quality under arid conditions.
Based on results, it can be concluded that the full irrigation (FI) and regulated deficit irrigation (DI-Dev, DI-Mat and DI-Dev+Mat) strategies offer significant advantage for both barley yields and WP and reduce the build-up of salinity compared to DI-50 irrigation strategy in barley production under arid conditions. As a result of this research, full irrigation scheduling technique (FI) is recommended for irrigation of barley crop under the arid conditions of southern Tunisia. In case of situations where water supply is limited, irrigation of barley could be scheduled using DI-Dev, DI-Mat and DI-Dev+Mat, deficit irrigation strategies. The deficit irrigation presents a great potential to improve the water productivity and the control of soil salinization by exploiting the natural leaching of salts by the rain. Future studies should be undertaken to evaluate the efficiency of the fall-winter rains for natural leaching.

REFERENCES

-Allen R.G., Perreira L.S., Raes D., Smith M. (1998) : Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage PaperN° 56, FAO, Rome, Italy, 300 p.

-Araya,A,. Solomon, H,. Hadgu,K,.Kebede,A,. Dejene T. (2010) :Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (Hordeum vulgare). Agricultural Water Management 97, 1838–1846.

-Baheri SF, A Javanshir, H Kazemi and S Aharizad (2005) : Effects of irrigation at different phenological stages on some traits in spring barley genotypes. Iranian Journal of Agricultural Sciences 36 (1): 169-176.

-Bhutia, N.K. and G.D. Singh, (1990) : Study on yield and water use efficiency of barley in response to moisture regimes and sources of nitrogen. Haryana J. Agron., 6(1), 76-77.

-Bresler, E. (1975) : Two-dimensional transport of solutes during nonsteady infiltration from trickle source. Soil Science Society America Proc. 39: 604-613.

-Bresler, E., B.L. McNeal and D.L. Carter (1982) : Saline and sodic soils: Principals dynamics-modelling. Irrig. Sci., 13, 157-164.

-Ceccarelli S (1987) :Yield potential and drought tolerance of segregating population of barley in contrasting environments. Euphetica 36 : 265-273.

-English, M.J., J.T. Musick, and V.V.N. Murty (1990) : Deficit irrigation. In: Management of Farm Irrigation Systems. (eds G.J. Hoffman, T.A. Howell and K.H. Solomon). ASAE Monograph, Michigan, pp. 661-663.

-Hussain, G. and A. AL-Jaloud (1998) : Effect of irrigation and nitrogen on yield, yield components and water use of barley in Saudi Arabia. Agriculture Water Management, 36, 55-70.

-Jamieson PD, Francies GS, Wilson DR and Martin RJ (1995) : A drought influences on grain yield of barley, wheat and maize. N. Z. J. Crop Hortic. Sci 23: 55-66.

-Khalil, F.A., S.A. Ouda and M.M. Tantawy (2007) : Predicting the effect of optimum irrigation and water stress on yield and water use of barley crop. J. Applied Sc. Res., 3(1), 1-6.

-Maas EV and GJ Hoffman (1977) : Crop salt tolerance -current assessment. J. Irrigation and Drainage Division, ASCE 103: 105-134.

-Nagaz K, Toumi I, Masmoudi MM and Ben Mechlia N (2008) : Soil Salinity and Barley Production under Full and Deficit Irrigation with Saline Water in Arid Conditions of Southern Tunisia. Agricultural Journal.

-Nagaz, K. and N. Ben Mechlia, (1998) : Barley production under different irrigation regimes with two water qualities. Agricoltura Mediterranea, International Journal of Agricultural Science, 128(1), 28-33.

-Nagaz, K. and N. Ben Mechlia, (2000) : Nitrogen and water quality effects on yield and water use efficiency of barley (Hordeum vulgare L. cv. Ardhaoui) in the arid climate of southern Tunisia. Agricoltura Mediterranea, International Journal of Agricultural Science, 130 (1), 11-17.

-Nagaz, K., N. Ben Mechlia (2003) : Etude de la consommation en eau et de la production de l’orge sous irrigation à l’eau salée. Revue des Régions Arides 14 (1): 17-29.

-Paranychianakis NV, Chartzoulakis KS (2005) : Irrigation of Mediterranean crops with saline water: from physiology to management practices. Agriculture, Ecosystems & Environment 106: 171–187.

-Salemi, H,. Soom,M,. Lee, S,.Mousavi,F,.Ganji,A,. and Yusoff, M . (2011) : Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of Winter wheat in arid region. Afr. J. Agric. Res.pp. 2204-2215.

-Schoups G, JW Hopmans, CA Young, JA Vrugt, WW Wallender, KK Tanji, and S Panday (2005) : Sustainability of irrigated agriculture in the San Joaquin Valley, California. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 102: 15352-15356.

-Sepaskhah AR (1978) : Time and frequency of irrigation in relation to growth stages of barley. Agron. J 70: 731-734.

-Shalhevet J. (1984) : Management of irrigation with brackish water processes and management. In: Adv. Hoot.Sci., 6 (1992): 3-10

-Singh S.D., J.P Gupta and P. Singh, (1977) : Water economy and saline water use by drip irrigation. AgronomyJ., 70, 948-951.

-Umar S (2006) : Alleviating adverse effects of water stress on yield of sorghum, mustard and groundnut by potassium application. *Pak. J. Bot* 38(5): 1373-1380.
-Weltzien HC and JP Srivastava (1981) : Applications in breeding strategies, ICARDA, Aleppo (Syria). In: barley genetics IV, Fourth. Int. Barley Generics Symposium, Edinburgh, Scotland: 351-369.
-Zhang, X,. D. Pei, Z. Li, J. Li, Y. Wang, (2002) : Management of supplemental irrigation of winter wheat for maximum profil. Deficit irrigation practices, FAO Water Reports 22, 55-66.
-Zhang, Y., Kendy, E., Qiang, Y., Changming, L., Yanjun, S., Hongyong, S. (2004) : Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain. Agric. Water Manage. 64, 107-122.

Essai de gestion rationnelle des eaux dans une zone aride : cas du Zab Est de Biskra, Sud-Est Algerien

Boutouga Fateh[1], Bechiri Naouel[1]
Département de Géologie, Université Badji Mokhtar Annaba
Email : fatehgeologie@yahoo.com

RESUME
Cette étude est consacrée au diagnostic et l’actualisation des ressources en eaux superficielles et souterraines du bassin versant du Zab Est de Biskra. Il est établi à base d’une masse importante de données pour but principal l’évaluation des ressources exploitables en eaux destinées pour l’usage domestique, agricole et industriel pour mettre en évidence les grands axes d'une gestion durable et rationnelle des ressources en eau en milieu aride.
Le bassin du Zab Est de Biskra s'étend sur une superficie de 9 668 Km^2, avec une population de prés de 349 milles habitants, comprenant six petits bassins versant (bassin versant de oued El Abiod, le bassin de Dermoun, le bassin de oued Djedi, le bassin de oued El Arab, le bassin de oued Zeribet, et le bassin de Biraz-Atrous). Ce bassin est soumis à un climat aride et sec, avec un hiver froid et sec et un été chaud et sec, la température moyenne annuelle à la station de Biskra est de l'ordre de 23 °C et des précipitations ne dépasse pas le 200 mm/an dans les stations de la région du Zab Est de Biskra sauf à la station de T’Kout au nord en zone de montagne dépassant les 300 mm/an.
Après Les conditions naturelles citées précédemment, nous avons étudié les différentes fonctions socio- économiques qui entre en contact direct avec l’utilisations de cette ressource importante comme : le nombre des populations , les activités agricoles et industriels dans le bassin versant du Zab Est de Biskra, en suite on a procédé à l’évaluation des ressources en eau de surface et souterraine reconnues, mobilisées et exploitées et la manière de leur distribution actuelle au niveau de l’alimentation en eau potable, l’utilisations agricoles et industrielles. En fin de compte nous donnons une estimation perspective des besoins en eau des différents secteurs a court, moyen et longue terme, et un aperçu sur l’état des réseaux d’assainissement.
L'affectation des ressources en eau dans le bassin du Zab Est de Biskra, la partie la plus importante des eaux mobilisées est destinée à la satisfaction des besoins agricole (utilisation pour l’irrigation), avec un volume de 280,6 Hm^3/ an, soit un taux de 90,03 %. Toutefois, cette dominance est due aux besoins d’irrigation qui ne cessent de croître. Les besoins domestiques tiennent une place prépondérante dans les prélèvements d'eau dans le bassin, un volume de 30,81 Hm^3, soit 9,88 % de la totalité des ressources mobilisées. Le volume consacré pour couvrir les besoins en eau industrielle est évalué à 0,26 Hm^3 par an, soit 0,08 % des ressources mobilisées.
Vue cette situation, qui parait angoissante, nous essayons pour la première fois d'appliquer les concepts d'une gestion rationnelle et durable des ressources en eau, en se basant sur un diagnostic quantitatif et qualitatif des potentialités hydriques dans le bassin, pour arriver à mettre les grands axes de cette nouvelle vision qui a pour but d'améliorer la gestion actuelle de l'eau, en favorisant une meilleure harmonisation entre les divers besoins et intérêts des communautés humaines et ceux des écosystèmes aquatiques, et éviter des lendemains déficitaires en eau.
Mots Clés: Gestion intégrée, bassin versant du Zab Est de Biskra, ressources en eau, pollution, potentialités hydriques, besoins en eau.

1. INTRODUCTION

La gestion rationnelle ou intégrée des ressources en eau et en sols et la maîtrise destechniques hydro-agricoles dans ce vaste territoire, fragile et complexe, qui se distingue par une superficie de plus de deux millions de Km^2 sont aujourd’hui une nécessité en vue d’assurer un développement harmonieux et durable et ce pour une agriculture moderne et performante.
Malheureusement, dans plusieurs régions, surtout celles situées au Sahara Septentrional sont confrontées aujourd’hui à des problèmes de remontée des eaux provenant des nappes profondes qui sont néfastes pour les cultures et les habitations. Cette remontée des eaux est l’une des causes de l’accroissement de l’excès de salinité dans les sols en surface. Cette sécheresse a engendré le plus souvent, la chute des rendements des cultures et des fois la stérilisation des sols par la destruction de la

structure même. D’une manière générale les eaux destinées pour l’alimentation en eau potable et à l’irrigation, ainsi que celles destinées pour les besoins industriels, proviennent surtout des eaux souterraines. De point de vue quantité, l’eau au Sahara est généralement disponible et ce, grâce à d’importants aquifères, surtout au bas Sahara (Sahara Septentrional); mais la qualité physico-chimique de cette eau (salinité) dans certaines régions est le plus souvent médiocre. Cette salinité des eaux, dont une partie est d’origine géologique (primaire) s’accroît continuellement par une mauvaise gestion de la ressource en eau et en sols (salinisation secondaire).

Cette situation alarmante illustre parfaitement l’absence d’une maîtrise organisationnelle de distribution et de disponibilité en eau de bonne qualité. L’accroissement rapide de l’utilisation de ces ressources en eau sans une politique de planification et de gestion a crée des situations graves, pouvant avoir des conséquences préjudiciables et irréversibles sur le milieu. Le respect d’une gestion en eau cohérente et rigoureuse est la seule manière de préserver cette précieuse ressource,

Dans ce cadre, l’étude menée sur le bassin versant du Zab Est de Biskra a pour objectif l'identification des caractéristiques du bassin, la quantification des ressources en eau (superficielles et souterraines) pour une gestion durable.

2. CADRE GENERAL

L’oasis du Zab Est se situe à l'est de Biskra regroupant administrativement les communes de Sidi Okba et Chetma avec les palmeraies de Thouda, Seriana et Garta. Cette région fait partie de la wilaya de Biskra qui constitue l'une des grandes régions du Sud-Est algérien. Elle est située à l'ouest du chef lieu de la wilaya, limitée au Nord par les communes d'El Outaya, Branis et Mechounech, à l'Est par les communes d'Ain Naga, El Haouch et au Sud par la commune de Still qui fait partie de la wilaya d'El Oued et à l'Ouest par les communes de Zerzour, et Ouled Slimane faisant partie de la wilaya de M'sila ainsi que de la commune de Chaiba (Fig. 1). Le bassin du Zab Est de Biskra regroupe en réalité dix communes.Géographiquement la région des Ziban est comprise entre 34° 38' et 35° 5' de latitude nord et entre 4° 56' et 5°35' de longitude Est. La superficie totale des différentes communes de la région de Zab Est de Biskra couvre une partie importante de la wilaya de Biskra.

Du point de vue climatique, le bassin du Zab Est est soumis à un climat aride et sec, avec un hiver froid et sec et un été chaud et sec, la température moyenne annuelle à la station de Biskra est de l'ordre de 23 °C et des précipitations ne dépasse pas le 200 mm/an dans les stations de la région du Zab Est de Biskra sauf à la station de T’Kout au nord en zone de montagne dépassant les 300 mm/an.

Du point de vue géologique, la région de Biskra ne représente qu’une zone de transition structurale et sédimentaire : Au Nord, c’est une région montagneuse tandis qu’au Sud, c’est un paysage effondré qui fait partie du Sahara Septentrional. Le passage entre ces deux domaines distincts se fait par l’intermédiaire d’un ensemble de flexure, de plis failles d’orientation Ouest Est appelé « Flexure Saharienne ».

Les unités stratigraphiques et lithologiques et indiquant les unités hydrogéologiques correspondantes. Les principaux aquifères sont contenus dans deux grands complexes sédimentaires : le Continental Intercalaire (CI) et Complexe Terminal (CT).

Le CI regroupe les formations continentales du Barrémien et de l’Albien. Dans la région de Biskra le CI se situe à une profondeur de plus de 2000m et a une épaisseur d’environ 500m.

Le CT est constitué d’une nappe de calcaire contenue dans les formations Sénon-éocènes et de nappes à matériel continental appartenant à l’étage Mio-Pli quaternaire.

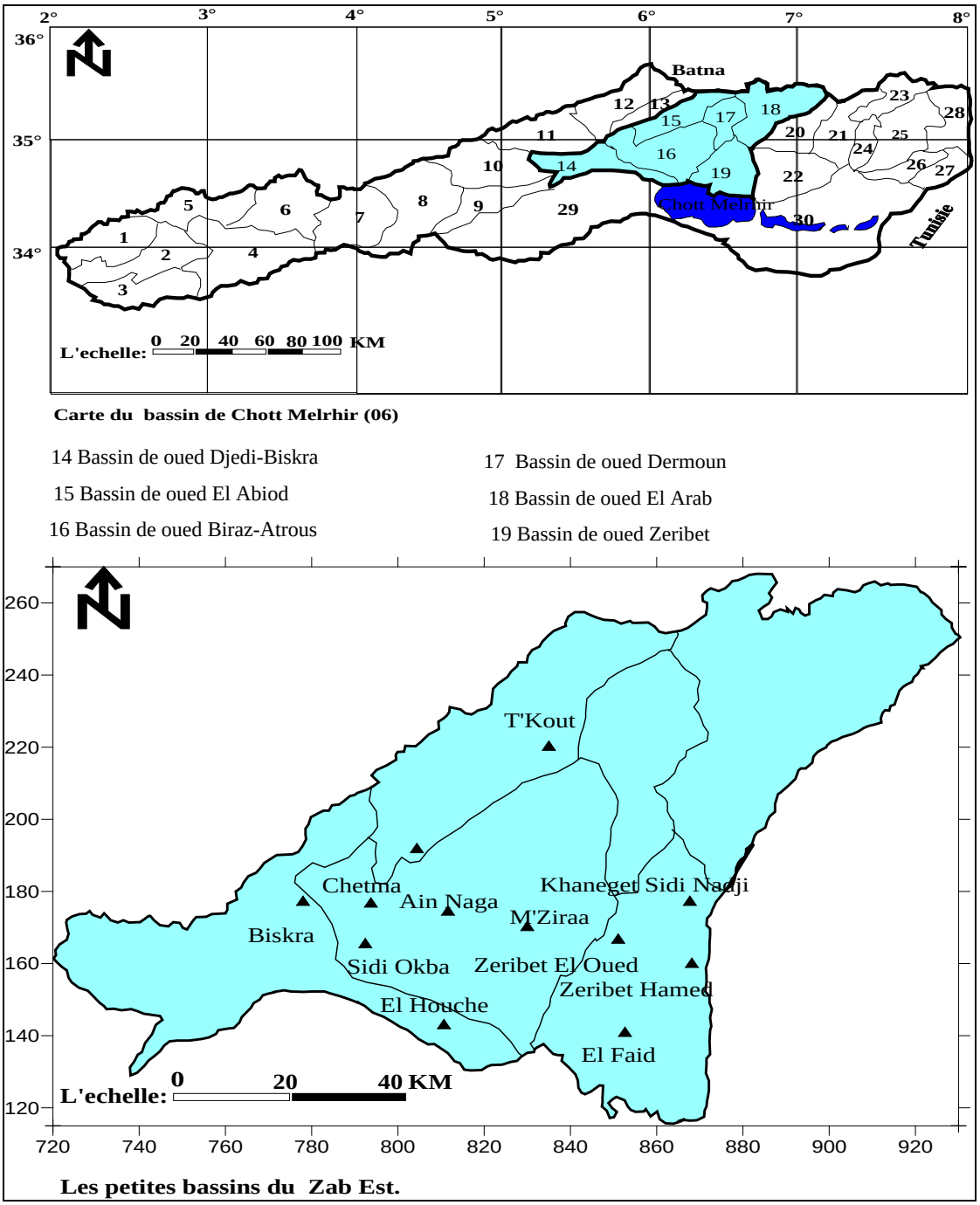


Figure 1. Situation géographique de la région du Zab Est (Boutouga.F. 2011)

3. LES RESSOURCES EN EAUX

La région de Biskra présente des ressources en eau souterraines importantes, représentées en plus de la nappe phréatique du quaternaire par deux systèmes aquifères, qui sont le complexe terminale et le continental intercalaire. Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d’autant plus important qu’elles constituent souvent la seule source d’approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces pays (TRAVY, 1994).

Pour le Sahara Septentrional Algérien, l'essentiel des ressources est constitué par les eaux souterraines. Ces dernières, contenues dans les formations continentales du continental intercalaire (C.I) et du complexe terminal (C.T) constituent l'un des plus vastes réservoirs hydrauliques du monde (BEL et CUCHE, 1970; CDTN, 1992), dont les potentialités mobilisables sont estimés à 5 milliards de mètres cube d'eau (ANRH). Les conditions lithologiques, hydrodynamiques et hydro-chimiques sont variées,

notamment dans la partie Est de la région, et confèrent de ce fait un intérêt particulier à ces nappes. Par ailleurs, diverses études entreprises depuis une trentaine d'années, ont montré que les eaux de cette région sont caractérisées par une minéralisation totale excessive, le plus souvent associées à une dureté élevée et des concentrations élevées en fluorures.

Tableau 1. Le volumed’eau exploité (Mm^3) dans la région du Zab Est par nappe

Nappes	Quater	Mioplio	Pontien	Eocène	Séno	Maestri	Albien
Volume d’eau exploité (Hm^3/an)	5,00	231,85	6,69	11,75	15,94	10,18	5,74

Source. ANRH Biskra.2010

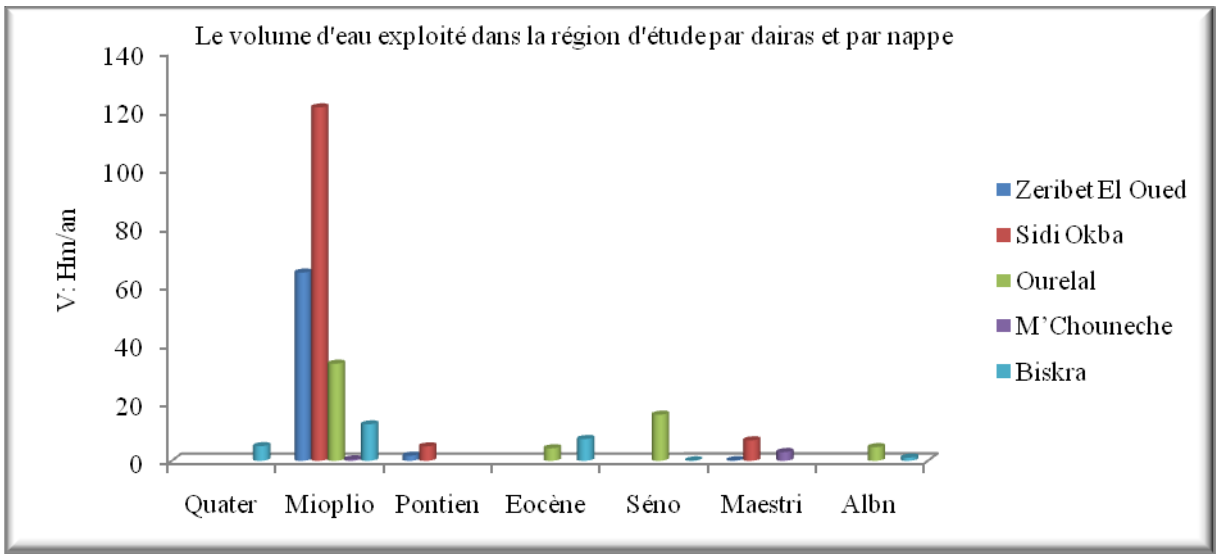


Figure 2. Le volume d’eau exploité par nappe dans la région du Zab Est. [Boutouga, 2011].

4. Affectation des ressources en eau dans le bassin du Zab Est de Biskra

Concernant l'affectation des ressources en eau dans le bassin du Zab Est de Biskra, la partie la plus importante des eaux mobilisées est destinée à la satisfaction des besoins agricole (utilisation pour l’irrigation), avec un volume de 280,6 Hm^3/ an, soit un taux de 90,03 %. Toutefois, cette dominance est due aux besoins d’irrigation qui ne cessent à croître. Les besoins domestiques tiennent une place prépondérante dans les prélèvements d'eau dans le bassin, un volume de 30,81 Hm^3, soit 9,88 % de la totalité des ressources mobilisées. Le volume consacré pour couvrir les besoins en eau industrielle est évalué à 0,26 Hm3 par an, soit 0,08 % des ressources mobilisées.

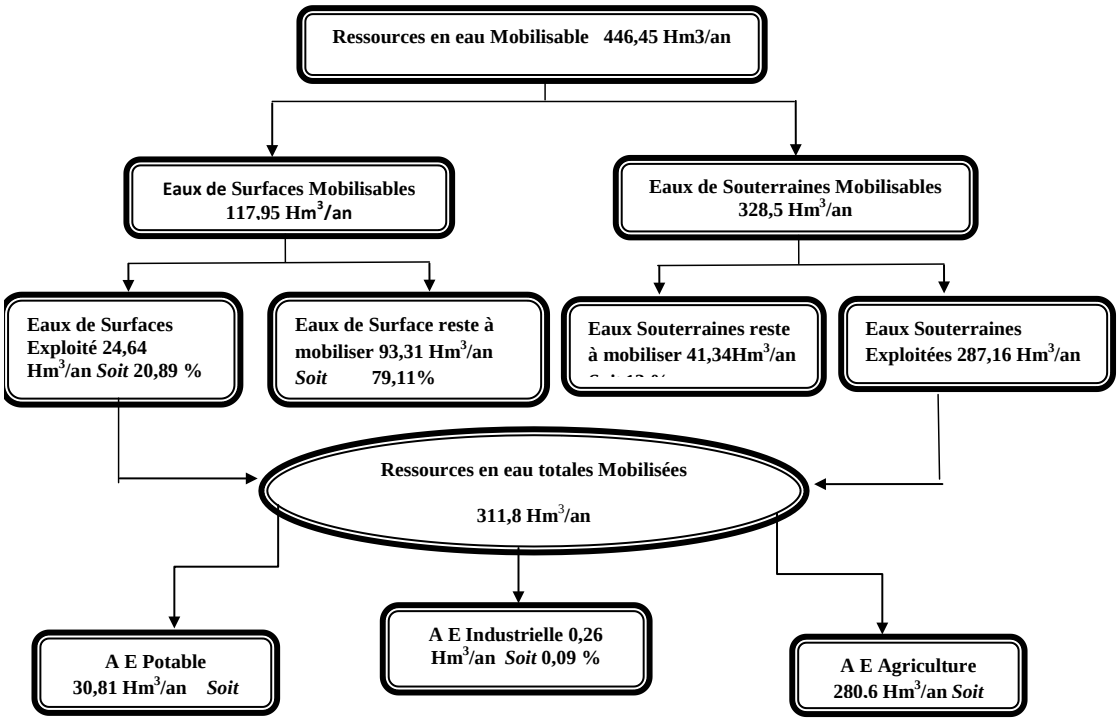

Ressources en eau Mobilisable 446,45 Hm3/an
Eaux de Surfaces Mobilisables 117.95 Hm3/an
Eaux de Souterraines Mobilisables 328,5 Hm3/an
Eaux de Surfaces Exploité 24,64 Hm3/an Soit 20,89 %
Eaux de Surface reste à mobiliser 93,31 Hm3/an Soit 79,11%
Eaux Souterraines reste à mobiliser 41,34Hm3/an
Eaux Souterraines Exploitées 287,16 Hm3/an
Ressources en eau totales Mobilisées 311,8 Hm3/an
A E Potable 30,81 Hm3/an Soit
A E Industrielle 0,26 Hm3/an Soit 0,09 %
A E Agriculture 280.6 Hm3/an Soit

Figure 3. Schéma récapitulatif du potentiel hydrique dans le bassin du Zab Est de Biskra. [Boutouga, 2011]

5. ESSAI DE GESTION RATIONNELLE DES EAUX DANS LE BASSIN DU ZAB EST

La comparaison entre ressources-besoins est un indicatif révélateur et très significatif qui nous oriente quant à l'avenir de la politique de l'eau que nous menons afin d'atténuer l'effet du déficit en eau selon l'espace géographique, le secteur d'utilisation et l'échéance considérée.

Les besoins en eau se rapportent aux quantités nécessaires à consommer pour assurer l'alimentation en eau potable (AEP), en eau d'irrigation (AEA) et en eau industrielle (AEI).

L'estimation quantitative des besoins en eau est basée sur deux paramètres essentiels sont à prendre en considération dans lors de l'évaluation des besoins actuels et futurs de l'AEP. Ces paramètres sont le taux de croissance démographique et la dotation selon des normes pour l’AEP et des normes techniques suivant les unités pour l'AEI.

Les dotations en eau présentées par habitant dans la région de Zab Est de Biskra sont globalement bien supérieures à la moyenne nationale (160 l/j/hab), elles seraient en moyenne de l'ordre de (360 l/j/hab). C'est ainsi que la production en eau potable est passée de 44 millions de m^3 pour l'année 2008, à prés de 45,83 millions de m^3 pour l'année 2010, soit une augmentation moyenne annuelle de 0,91 million de m^3 (Tableau 2) (Boutouga, 2011).

Les besoins en eau domestique dans la région de Zab Est sont de l’ordre 44 millions de m^3 par an à court terme, 56,14 hm^3/an à moyen terme et de l’ordre 76,11 hm^3/an à long terme (Tableau 2).

Tableau 2. Perspective de l'évolution de la population et de la demande en eau potable dans la région du Zab Est de Biskra.

Année	2008	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Population	334876	348747	385990	427209	472831	523324	579210
Besoins AEP (Hm^3/an)	44,00	45,83	50,72	56,14	62,13	68,76	76,11

Source. ANRH Biskra.2010

Les besoins en eau industrielle dans la région de Zab Est de Biskra est actuellement trés faible et de l’ordre de 0,55 hm^3/an à court terme, 0,81 hm^3/an à moyen terme et de l’ordre de 1,14 hm3/an à long terme (Tableau 3) (Boutouga, 2011).

Tableau 3. Evolution dans le temps des besoins en eau pour l'industrie dans la région de Zab Est de Biskra (2008-2035)

Année	**2008**	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**
Besoins en eau (hm^3)	0,55	0,59	0,66	0,81	0,92	1,03	1,14

Source. ANRH Biskra.2010

La superficie irrigable dans le périmètre du Zab Est de Biskra est estimée à 104803 ha, tandis que l'on irrigue actuellement que 44414 ha, soit un taux de 42 % de la superficie irrigable totale.
Si l'on veut irriguer toute cette superficie avec une dotation de 15731 m^3/ha/an, on y besoin d'un volume de 698 millions de m^3 annuellement.
Les besoins en eau d'irrigation dans la région de Zab Est de Biskra sont de l'ordre de 698 hm^3 /an (Tableau 4) à court terme, 782 hm3/an à moyen terme et de l’ordre 887 hm3/an à long terme (Boutouga.F. 2011).

Tableau 4. Les besoins en eau pour l’irrigation dans la région de Zab Est de Biskra

Superficie irriguée (ha)	**Dotation (m^3/ha*an)**	**Demande (hm^3/an)**	
Besoins en eau (hm^3)	44414	15731	698

Source.DSA Biskra.2010

6. CONCLUSION

La région d’étude présente des ressources en eau souterraines importantes, représentées en plus de la nappe phréatique du quaternaire par deux systèmes aquifères, qui sont le CT et CI.
L'exploitation des eaux souterraines est la principale ressource pour l'alimentation en eau potable pour les habitants de la région de Biskra. En fait l'exploitation de deux barrages sur la région ne se fait que pour l'irrigation des cultures.
La région de Zab Est de Biskra ne fait pas exception, ses besoins en eau sont en augmentation continue. Globalement, on estime les besoins en eau dans le Zab Est de Biskra à prés de 743 millions de m^3 par an, inégalement partagés entre les trois secteurs usagers de l'eau.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Bel F. et Cuche D. (1970). Etude des nappes du Complexe Terminal du bas Sahara»Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du modèle mathématique, DHW, Ouargla.
-Travy Y**.** (1994) : . The evolution of alkaline groudwater in the continental intercalaire aquifer of Irhazer Plain, Niger». Water resources research. Vol. 30, N° 1, pp 45-61.
ABHSahara.Etude du cadastre hydraulique du bassin versant du Chott Melghir». Mission V Qualité des eaux. Rapport 32 pages.
-Boutouga F. (2011) : Ressources et Essai de gestion des eaux dans le Zab Est de Biskra (Sud-Est algérien). Mémoire de Magister, Université d'Annaba.DSA. Direction des Services Agricoles de la wilaya de Biskra. ANRH.Agence Nationale des Ressources en Eau de la wilaya de Biskra.

Effet de la contrainte hydrique sur le taux de la chlorophylle des deux poacées : *Cenchrus ciliaris* et *Digitaria commutata* autochtones menacées de disparition des zones aride de la Tunisie

Imen Dhib*,** ; Mustapha Ksontini* ; Ali Ferchichi**
*Institut National de Recherches en Génie Rural, Eau et Forêt, Tunis, Tunisie
**Institut des Régions Arides, Médenine, Tunisie
Email : dhibimen@ymail.com

RESUME
Les écosystèmes sahariens présentent une intensité importante de sensibilisation à l’érosion, et à la désertification dont les impacts sont irréversibles, d’une part une faiblesse du rendement des cultures, d’autre part une pauvreté des sols ; ce qui conduit à une biodiversité limité. Ainsi se combine à ces contraintes, celle hydrique qui est la cause principale de la rarification de certains espèces pastorales tel que *Cenchrus ciliaris* et *Digitaria commutata*. C’est dans ce contexte, que s’intègre notre étude dont l’ensemble des travaux réalisés visent à déterminer le comportement morphologique vis-à-vis du déficit hydrique sur des plantules de deux poacés *(Cenchrus ciliaris* et *Digitaria commutata)* autochtones des zones arides. Les expérimentations ont été conduites dans un milieu contrôlé (chambre de culture) à l’institut national de recherche en génie rural eau et forêt. L’étude de la variation des taux de chlorophylles chez les deux espèces souligne une nette différence entre les populations d’une part et entre les deux cycles de stress hydrique appliqués d’autre part.
Cependant, le taux de chlorophylle **a** chez les plants stressé diminue pendant les deux cycles de stress hydrique de 5,35 à 1,54 et de 5,39 à 2,30 et de 3,25 à 1,56 et de 2,13 à 1,20 mg/g, respectivement, chez les populations de *Cenchrus ciliaris* de Jerba et de Bouhedma, *Digitaria commutata* de Bouhedmaet *Cenchrus ciliaris* de Matmata.
Le taux de chlorophylle **b**, ainsi, on a enregistré une réduction durant les deux cycles de stress hydrique appliquer, ce pendant les valeurs passent de 1,21 à 0 et de 1,13 à 0,03 et de 1,90 à 0,20 et de 0 mg /g de matière sèche, respectivement, chez les populations de *Cenchrus ciliaris* deJerba et cellede Bouhedma, *Digitaria commutata* de Bouhedma et *Cenchrus ciliaris* de Matmata. En ce qui concerne le taux de chlorophylle total, les résultats montrent aussi une diminution importante entre les deux cycles de stress, dont les valeurs passent chez le stressé de 18,52 à 4,75 et de 18,57 à 7,50 et de 12,43 à 5,26 et de 6,69 à 3,64mg/g de matière sèche,respectivement, chez les populations de *Cenchrus ciliaris* de Jerba etde Bouhedma, *Digitaria commutata de* Bouhedma et *Cenchrus ciliaris* de Matmata.De même le taux des caroténoïdes a été fortement influé chez le stressé de différents populations en fin du 2ème cycle de stress hydrique, en faite les valeurs passent de 11,94 à 3,43 et de 12,04 à 5, 15 et de 7,27 à 3, 48 et de 4,77 à 2,71 mg/g de matière sècherespectivement chez les populations de *Cenchrus ciliaris* de Jerba etde Bouhedma, *Digitaria commutata* (Bouhedma) et *Cenchrus ciliaris* de Matmata.
Il est important de signaler que les différents taux de chlorophylle chez les plants témoins de différents populations n’à pas subi d’importante variation au cours des deux cycles de stress hydrique appliqué.
Mots clés : contrainte hydrique, taux de chlorophylle a, b, caroténoïde, poacés, zones aride, Tunisie

1. INTRODUCTION
Les espèces végétales dans les régions méditerranéennes sont confrontées à une sécheresse climatique et édaphique prolongée dont l’indice sur les plantes, et relativement difficile à caractériser, pour cela on recourt à la technique de la courbe pression volume, dont elle permet une caractérisation précise de l’état physiologique de la plante face à la contrainte hydrique.
En revanche, la variabilité inter et intra-annuelle de pluviométrie (Alexandre, 1989) et les conditions pédologiques et celle biologiques des stations peuvent attribuer une grande importance aux différences de comportements morpho-physiologiques de chaque espèce.
Ce qui induit une variabilité des quantités de chlorophylle (**a**, **b** et caroténoïdes) chez les différentes espèces étudiées en fonction des sites. Cette variabilité des taux de chlorophylle met en question la valeur nutritive du matériel végétale ce qui nous a amener à étudier ce point au sein de notre étude morphologique réalisée.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériels végétal

L’étude a été effectuée sur des jeunes plants de deux poacées autochtones des zones arides : *Cenchrus ciliaris* et *Digitaria commutata* âgés de 5 mois et issues de 3 sites d’études:

- Site Bouhedma: Région de Sidi bouzid (étage aride supérieur; variante à hiver tempéré, Montagne)
- Site Jerba: Région de Médenine (étage aride inférieur à hiver chaud, côte de mer)
- Site Matmata: Région de Gabès (étage aride supérieur à hiver tempéré; montagne)

L’expérimentation a été conduite dans des conditions semi contrôlées en pépinière de l’I.N.R.G.R.E.F à Ariana (bioclimat semi-aride supérieur). Deux régimes hydriques ont été appliqués : Les plants témoins (NS) ont été arrosés à volonté chaque jour et les plants stressés (S) ont subi deux cycles de 10 jours de dessèchement par arrêt total d'arrosage séparés par une réhydratation intermédiaire.

Le choix des stations et basés essentiellement sur la disponibilité des graines et leur capacité germinative.

Le substrat de l’élevage des plants est caractérisé par : l’humidité à la capacité au champ est de l’ordre de 26 % et sa texture est :

Tableau 1. Texture du sol de culture

Matière	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable grossier %	Calcaire grossier %	MO %	PH	P_2O_5	K_2O
	12	12	30	43	3	3.2	7.5	4	0.17

Les mesures des taux de différentes chlorophylles ont été effectuées sur 6 échantillons par population et par traitement à la fin du premier et du deuxième cycle de sécheresse.

2.2. Méthodologie

On a utilisée 50 mg des feuilles jeunes de chaque traitement, les broyées dans 10 ml d’acétone 80%, après une centrifugation de l’extrait à 2500 tr/mn pendant 5mn on prélève l’extrait à fin de lire la Densité Optique à 646,8 nm et à 663,2 nm.

La chlorophylle totale en mg/g de matière fraîche avec :

MF = (7, 15 x DO646, 8 +18, 17 x DO 663, 2) x V/M

V= volume de l’extrait total en l

Ch a = 12, 7 x DO663, 2- 2, 69 x DO646, 8

Ch b = 22, 9 x DO646, 8 – 4, 68 x DO663, 2

Caroténoïdes = 5 DO470 +2,846 x DO663, 2 - 14,876DO646, 8

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Variation du taux de chlorophylle a

Les valeurs obtenus sont de l'ordre de 5,35; 5,39; 3,25 et 2,13 mg/g chez les stressés et de 4,30; 6,53; 2,57 et 4,35 mg/g pour les témoins, respectivement, pour les populations de Jerba, Bouhedma (*Digitaria commutata* et *Cenchrus ciliris*) et Matmata, à la fin du premier cycle de sécheresse.

A la fin du deuxième cycle de sécheresse, les valeurs sont de l'ordre de 1,54; 2,30; 1,56 et 1,20 mg/g chez les stressés et de 4,16; 3,52; 3,26 et 2,62 mg/g chez les témoins, respectivement, pour les populations de Jerba, Bouhedma (*Digitaria commutata* et *Cenchrus ciliris*) et Matmata. (Fig.1).

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées chez la population de Bouhedma (5,39 mg/g), à moindre degré chez les populations de *Cenchrus ciliaris* de Jerba (5,35 mg/g), *Digitaria.commutata* de Bouhedma (3,25 mg/g), et minimale chez la population de Matmata (2,13 mg/g) à la fin du 1er cycle de sécheresse.

Alors qu'à la fin du deuxième cycle, les valeurs les plus élevées sont enregistrées chez les populations de Bouhedma (2,30 mg/g), à moindre degré chez les populations de *D. commutata* de Bouhedma (1,56 mg/g), *Cenchrus ciliaris* de Jerba (1,54 mg/g) et minimales chez la population de Matmata (1,20 mg/g). (Fig. 1).

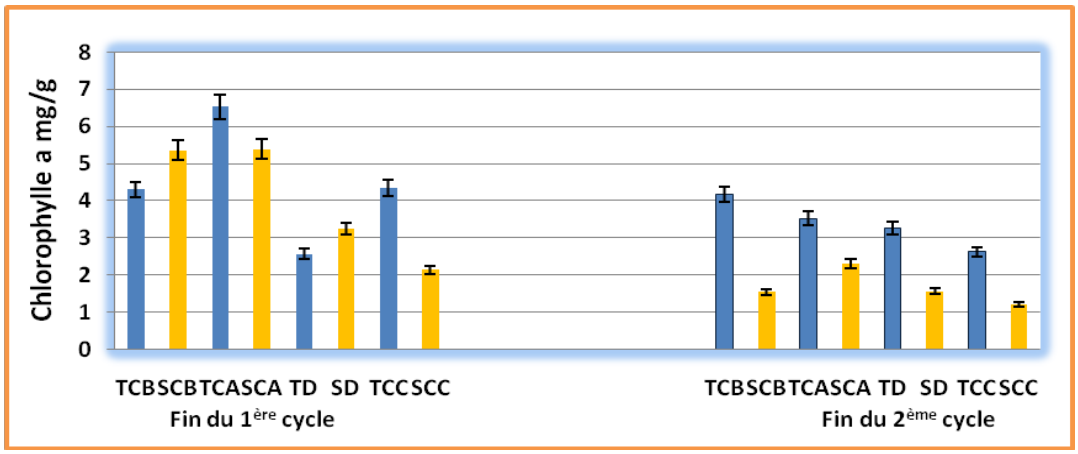


Figure 1. Variation du taux de chlorophylle **a** chez les espèces étudié à la fin des deux cycles de stress hydrique (TCB : plants témoin de *cenchrus ciliaris* de la population de Jerba ;SCB : plants stressé de *cenchrus ciliaris* de la population de Jerba ;TCA : plants témoin de *cenchrus ciliaris* de la population de Bouhedma ;SCA : plants stressé de *cenchrus ciliaris* de la population de Bouhedma ;TD : plants témoin de *Digitaria commutata* de Bouhedma ; SD : plants stressé de *Digitaria commutata* de Bouhedma ; TCC : plants témoin de *cenchrus ciliaris* de la population de Matmata ; SCC : plants stressé de *cenchrus ciliaris* de la population de Matmata)

3.2. Variation du taux de chlorophylle b

Les valeurs sont de l'ordre de 1,21; 1,13; 1,90 et 0 mg/g chez les stressés et de 0,39; 1,52; 4,08 et 0,55mg/g pour les témoins, respectivement, pour les populations de Jerba, Bouhedma (*Cenchrus ciliris* et *Digitaria commutata*) et Matmata à la fin du premier cycle de sécheresse.

A la fin du deuxième cycle de sécheresse, les valeurs sont de l'ordre de 0; 0,039; 0,20 et 0 mg/g chez les stressés et de 0,57; 0,090; 0,41 et 0,08 mg/g chez les témoins, respectivement, pour les populations de Jerba, Bouhedma (*Cenchrus ciliris* et *Digitaria commutata*) et Matmata.

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées chez la population de *Digitaria commutata* Bouhedma (1,90 mg/g), à moindre degré chez les populations de *Cenchrus ciliaris* de Jerba (1,21mg/g), de Bouhedma (1,13mg/g) et nulle chez la population de Matmata à la fin du 1er cycle de sécheresse.

A la fin du deuxième cycle, les valeurs les plus élevées sont enregistrées chez la population de *Digitaria commutata* de Bouhedma (0,20 mg/g), à moindre degré chez les populations de Bouhedma (0,039mg/g) et nulle chez les populations de Jerba et Matamata.(Fig. 2).

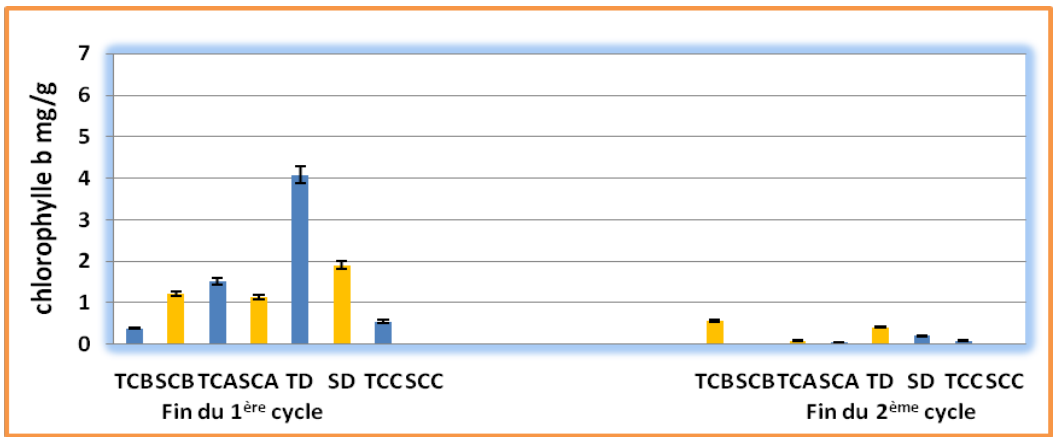


Figure 2. Variation du taux de chlorophylle **b** chez les espèces étudié à la fin des deux cycles de stress hydrique (TCB : plants témoin de *cenchrus ciliaris* de la population de Jerba ;SCB : plants stressé de *cenchrus ciliaris* de la population de Jerba ;TCA : plants témoin de *cenchrus ciliaris* de la population de Bouhedma ;SCA : plants stressé de *cenchrus ciliaris* de la population de Bouhedma ;TD : plants témoin de *Digitaria commutata* de Bouhedma ; SD : plants stressé de *Digitaria commutata* de Bouhedma ; TCC : plants témoin de *cenchrus ciliaris* de la population de Matmata ; SCC : plants stressé de *cenchrus ciliaris* de la population de Matmata)

3.3. Variation du taux de chlorophylle total

Les valeurs sont de l'ordre de 18,52; 18,5; 12,43; et 6,69 mg/g chez les stressés et de 14,29; 22,64; 12,40 et 14,61 mg/g pour les témoins, respectivement, pour les populations de Jerba, Bouhedma (*Cenchrus ciliris* et *Digitaria commutata*) et Matmata à la fin du premier cycle de sécheresse.

A la fin du deuxième cycle de sécheresse, les valeurs sont de l'ordre de 4,75; 7,50; 5,26 et 3,64 mg/g chez les stressés et de 14,03; 11,49; 10,95 et 8,56 mg/g chez les témoins, respectivement, pour les populations de Jerba et Bouhedma (*Cenchrus ciliris* et *Digitaria commutata*) et Jerba.

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées chez la population de Bouhedma (18,57 mg/g), à moindre degré chez les populations de Jerba (18,52 mg/g), *Digitaria commutata* de Bouhedma (12,43 mg/g), et minimale chez la population de Matmata (6,69 mg/g) à la fin du 1er cycle de sécheresse.

Alors qu'à la fin du deuxième cycle, les valeurs les plus élevées sont enregistrées chez la population de *Cenchrus ciliaris* de Bouhedma (7,50 mg/g), à moindre degré chez les populations de *Digitaria commutata* de Bouhedma, (5,26 mg/g), ainsi que celle de Jerba (4,75 mg/g) et minimales chez la population de Matmata (3,64 mg/g) (Fig. 3).

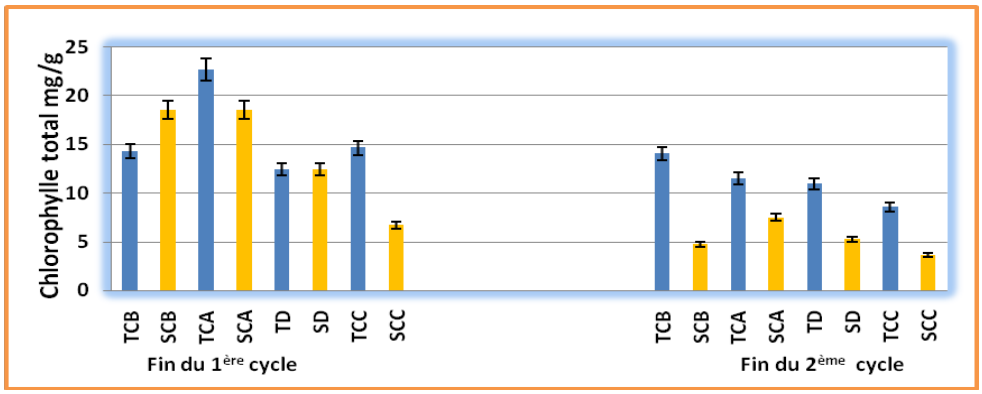


Figure 3. Variation du taux de chlorophylle total chez les espèces étudié à la fin des deux cycles de stress hydrique.

(TCB : plants témoin de *cenchrus ciliaris* de la population de Jerba ;SCB : plants stressé de *cenchrus ciliaris* de la population de Jerba ;TCA : plants témoin de *cenchrus ciliaris* de la population de Bouhedma ;SCA : plants stressé de *cenchrus ciliaris* de la population de Bouhedma ;TD : plants témoin de *Digitaria commutata* de Bouhedma ; SD : plants stressé de *Digitaria commutata* de Bouhedma ; TCC : plants témoin de *cenchrus ciliaris* de la population de Matmata ; SCC : plants stressé de *cenchrus ciliaris* de la population de Matmata)

3.4. Taux des caroténoïdes

Les valeurs sont de l'ordre de 11,94; 12,04; 7,27; et 4,77 mg/g chez les stressés et de 9,60; 14,58; 5,76 et 9,71 mg/g pour les témoins, respectivement, pour les populations de Jerba, Bouhedma (*Cenchrus ciliris* et *Digitaria commutata*) et Matmata à la fin du premier cycle de sécheresse.

A la fin du deuxième cycle de sécheresse, les valeurs sont de l'ordre de 3,43; 5,15; 3,48 et 2,71 mg/g chez les stressés et de 9,29; 7,87; 7,27 et 5,86 mg/g chez les témoins, respectivement, pour les populations de Jerba ; et Bouhedma (*Cenchrus ciliris* et *Digitaria commutata*) et Matmata.

Les valeurs les plus importantes sont enregistrées chez les populations de *Cenchrus ciliaris de* Bouhedma (12,04 mg/g), à moindre degré chez les populations de Jerba (11,94 mg/g), *Digitaria commutata* de Bouhedma (7,27 mg/g) comparé à Matamata (4,77 mg/g), à la fin du 1er cycle.

A la fin du deuxième cycle, la valeur la plus importante est enregistrée chez la population de Bouhedma (5,15 mg/g), à moindre degré chez les populations de *Digitaria commutata* Bouhedma, (3,48 mg/g) et celle de Matamata (2,71mg/g) (Fig. 4).

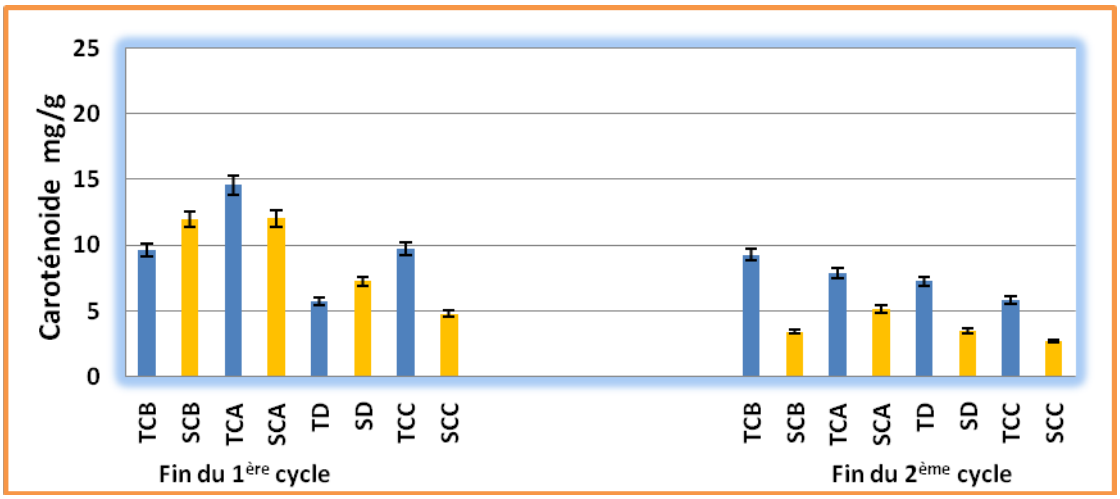


Figure 4. Variation du taux des caroténoïdes chez les espèces étudié à la fin des deux cycles de stress hydrique. (TCB : plants témoin de *cenchrus ciliaris* de la population de Jerba ;SCB : plants stressé de *cenchrus ciliaris* de la population de Jerba ;TCA : plants témoin de *cenchrus ciliaris* de la population de Bouhedma ;SCA : plants stressé de *cenchrus ciliaris* de la population de Bouhedma ;TD : plants témoin de *Digitaria commutata* de Bouhedma ; SD : plants stressé de *Digitaria commutata* de Bouhedma ; TCC : plants témoin de *cenchrus ciliaris* de la population de Matmata ; SCC : plants stressé de *cenchrus ciliaris* de la population de Matmata)

3.5. Analyse statistique

La comparaison inter populationnelle des moyennes des taux de chlorophylle au cours du premier cycle de stresse hydrique montre la présence de deux groupes distincts pour la chlorophylle **a** avec une différence significative entre (4,3) et (1,2)

Concernant les taux des chlorophylles **b** les deux tests regroupent les différents sites donc il n’y a pas de différences significatives dans la variation du taux de chlorophylle **b**. Alors que pour la chlorophylle total, trois groupes significativement différents ont été enregistré (4) (3) (1,2) et pour les caroténoïdes seulement deux groupes sont significativement différents.

En fin du deuxième cycle de stress hydrique appliqué la comparaison inter populationnelle des moyennes des taux de chlorophylle implique deux groupes différent (4, 1,3) et (2) concernant la chlorophylle **a**.

Pour la chlorophylle **b** les deux tests regroupent les différents sites donc il n’y a pas de différences significatives dans la variation du taux de chlorophylle **b**.

Alors que pour la chlorophylle total, deux groupes sont significativement différents (4, 1, 3) et (2) et pour les caroténoïdes deux groupes sont significativement différent (4, 1, 3) (2).

Les mêmes résultats sont obtenus pour les deux tests Student-Newman-Keuls et Duncan.

Avec 1 : population de *Cenchrus ciliaris* de Bouhedma.

2 : population de *Cenchrus ciliaris* de Jerba.

3 : population de *Digitaria commutata* de Bouhedma.

4 : population de *Cenchrus ciliaris* de Matmata.

4. DISCUSSION

La croissance des plantes dépend de leurs capacités à synthétiser les glucides (sucres) à partir du gaz CO2 et d’eau, cette réaction se fait au niveau des feuilles, organe de la plante contenant le plus de chlorophylle.

Ce chlorophylle capte l’énergie lumineuse et l’utilise pour former des glucides.

Par conséquent la concentration de chlorophylle augmente avec la concentration des matières nutritives de même elle augmente avec la diminution de l’intensité lumineuse (Poorter et *al* ., 1995 ; Niinemts, 1997 ; Niinemts et Tenhunen, 1997 cité par Ghouil H., 2004)

L’application de deux cycles de stress hydrique illustre bien que les conséquences du stress est mise en évidence durant le deuxième cycle de carence en eau, ce pendant les différences sont très hautement significative entre le témoin et le stressé, le test de Duncan implique que cette importante différence

pour les chlorophylles en discriminant les populations en différent groupe (4, 1, 3), (2) pour chlorophylle a et (4), (3), (1,2) pour la chlorophylle **b**, pour la chlorophylle total et pour les caroténoïdes.

Par contre Christophe Tourneux et *al* (2003), montre qu’en conditions de sècheresse les génotypes de pomme de terre étudié révèlent une résistance élevée à la sècheresse de l’appareille photosynthétique, et aucune corrélation significative entre le rendement en tubercule et les paramètres physiologiques, n’a pu être en évidence.

Serge Olivier (2004) montre qu’il n’y a pas de différences significatives dans la variation du taux de chlorophylle des plants témoins et des plants induits en stress, au stade de développement des feuilles, un taux de chlorophylle des plants induits en stress légèrement au-dessus de celui des plants témoins. Le phénomène contraire se produit au stade d’initiation des tubercules. Ainsi le stress hydrique imposé aux plants n’influence pas leur teneur en chlorophylle.

L’importante variabilité des taux de chlorophylle (a, b, chlorophylle total et caroténoïde) enregistré chez les différentes populations de *Cenchrus ciliaris* et de *Digitaria commutata* explique la menace de ces espèces qui s’aggrave avec la carence en eau, le réchauffement du globe terrestre qui induit l’augmentation de l’évapotranspiration chez les végétaux.

La région sud méditerranéenne**,** souffre souvent d’un grand déficit en espèces végétales (Khedim A. et *al*., 2004) ce pendant le déficit en eau est considéré la contrainte majeur pour le développement des différentes espèces pastorales dans ces parcours.

L’ensemble des contraintes envisagées par les plantes imposent des problèmes au niveau de l’appareil photosynthétique (Damesin et *al.*1996) par conséquent il y a diminution de synthèse du glucide ce qui pourra retarder la croissance du végétal et à long terme associé à la continuité des contraintes la mort des plants.

5. CONCLUSION

Le déficit hydrique affecte les taux de chlorophylle chez les deux espèces, en faite les concentrations de différents types de chlorophylles sont fortement affectées surtout pour la population de *C.ciliaris de* Matmata. On assiste aussi à un enroulement des feuilles chez les deux espèces (*C.ciliaris* et *D.commutata*) ce qui pourrait mettre en évidence leur stratégie appropriée pour résister à la contrainte hydrique par le mécanisme d’économie d’eau.

Les deux espèces manifestent une stratégie d’adaptation à la contrainte par réduction de la biomasse aérienne et donc minimiser les pertes d’eau, cela est approuvé par les faibles concentrations des chlorophylles enregistré ce qui a comme conséquence réduction du taux photosynthétique induisant une croissance nulles des espèces.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Alexandre DY (1989) : Pluies et alimentation en eau des plantes dans la région de Sinnamary (Guyane française). Nature Guyanaise 3, 28-36

-Le Réseau de surveillance volontaire des lacs, (2002) : Les méthodes, Développement durable faune et parc, gouvernement du Quebec 2002

-Serge Olivier, (2004) : détection du stress hydrique par thermographie infrarouge. Application à la culture de pomme de terre, 2004.

-Ghouil Amimi H. (2004) : Réponse du chêne liège aux contraintes environnemen-tales :(température, lumière et manque d’eau) : application aux problèmes de régénération de la subéraie. Thèse de doctorat en sciences biologiques 129p 2004.

-Khedim A. H.E. Khelifi, M. Nabi, K. Hadj-Omar, M. Mefti, S. Mouche, D. Bellague, M. M’Hammdi Bouzina M. Laouar, B.A. Merabet, H. Bouzezour, A.Abdeguefi, (2004) : Etude de comportement de trois graminées fourragères : *Dctylis glomerata* L., *Festuca arundinacea* Schreb., *Phalaris aquatica* Desf., en Algérie.

-Damesin C., Galera C., Rambal S. et Jffre R. (1996) : Effects of elevated carbon dioxide on leaf gas exchange and growth of cork-oak (*Quercus suber* L) seedlings. Ann Sci for (1996) 53, 461-467 Elseiver/INRA.

Variation saisonnière du potentiel hydrique, de la conductance stomatique et du cycle végétative de d’alfa (*Stipa tenacissima L.),* de cinq nappes alfatières en Tunisie

Soumaya Ben Ssehil[1, 2], Mustapha Ksontini[1], Samira Smiti [2]

[1]Laboratoire d’Ecologie Forestière, Institut Nationale de Recherche en Génie Rurale,Eaux et Forêts INRGREF,Université de Carthage, Tunis, Tunisie

[2]Laboratoire d’écophysiologie, Faculté des Sciences,Université El Manar de Tunis, 2092 El Manar Tunis, Tunisie.

E mail: soumayasbs@yahoo.fr

RESUME

L’alfa, (*Stipa tenacissima L),* est une plante herbacée vivace, appartenant à la famille des poacées. Elle est dominante, typique des parcours steppiques maghrébins. En Tunisie La superficie des nappes alfatières est de 743.000 ha dont 433.000 ha sont exploitables. Dans le présent travail nous avons entrepris une étude du comportement hydrique (potentiel hydrique de base et de midi) et physiologique (conductance stomatique du matin et de la mi-journée) ainsi que le suivie de la croissance de la partie aérienne des touffes l’alfa par la mesure de leurs hauteur et diamètre de cinq nappes alfatières en Tunisie : Essalloum, Guira, Zelfen (Kasserine) ; Oumlagsab (Gafsa) et Jelma (Sidi Bouzid).Une forte variabilité est observée dans le comportement saisonnier des populations d’alfa aussi bien pour la conductance que pour le potentiel hydrique ainsi que pour la croissance de la partie aérienne. Le potentiel hydrique de base est plus bas au mois de juillet (été) qu’au mois de février et novembre pour toutes les populations. Le potentiel hydrique de midi suit la même allure que celui du potentiel hydrique de base. La conductance stomatique des touffes d’alfa, à la mi-journée est plus élevée que celle du matin pour les populations de Zelfen, Guira et Jelma et dans les différentes saisons. Tandis que celle d’Essalloum et Oumlagsab manifeste une fermeture stomatique partielle à la mi-journée seulement au mois de juillet ce qui traduit la corrélation étroite entre la conductance stomatique et le potentiel hydriques. Le statut hydrique et le comportement physiologique de l’alfa montrent la résistance de cette espèce à la sécheresse. La croissance de la partie aérienne des touffes d’alfa est plus importante en hauteur et en diamètre chez la population Jelma en automne ; en été la croissance des touffes d’alfa est minimale. En hivers (février), l’accroissement est nul pour toutes les populations. La différence observée dans la croissance entre les populations et les saisons est une résultante des conditions climatique et édaphique d’une part et du cycle végétatif de l’alfa de l’autre part.

Mots-clés : alfa (*Stipa tenacissima L),* conductance stomatique, cycle végétatif, potentiel hydrique, résistance à la sécheresse.

SUMMARY

Alfa (Stipa tenacissima L), is a perennial herbaceous plant belonging to the grass family. She is dominant, typical Maghreb steppe rangelands. In Tunisia The area of esparto is 743,000 ha of which 433,000 ha are exploited.In the present work we have undertaken a study of water behavior (water potential and midday) and physiological (stomatal conductance in the morning and mid-day) and followed the growth of the aerial part of the Tufts' alfa by measuring their height and diameter of five esparto in Tunisia: Essalloum, Guira Zelfen (Kasserine) Oumlagsab (Gafsa) and Jelma (Sidi Bouzid).High variability was observed in the seasonal behavior of both populations alfa for the conductance for water potential as well as the growth of the aerial part. The water potential is lower in July (summer) in the month of February and November for all populations. Water potential at noon following the same pace as the water potential. Stomatal conductance tufts of alfa at mid-day is higher than the morning populations Zelfen, Güira and Jelma and in different seasons. While that of Essalloum and Oumlagsab shows a partial stomatal closure in mid-day only in July reflecting the correlation close between stomatal conductance and water potential. Water status and physiological behavior of alfa show the resistance of this species to drought.The growth of the aerial part of alfa clumps is larger in height and diameter in the Jelma population in autumn, summer growth of Alfa tufts is minimal. In winter (February), the increase is zero for all populations. The trend in growth between populations and seasons difference is a result of climate, soil conditions and vegetative cycle of alfa.

Keys words: alfa (Stipa tenacissima L), stomatal conductance, growth cycle, water potential, drought resistance

1. INTRODUCTION

La superficie des nappes alfatières a connu une dégradation constante suite à une activité anthropique agressive traduite par le surpâturage, le défrichement et la surexploitation. Ce qui a laissé les nappes alfatières exposées aux contraintes du milieu d’un côté édaphique et de l’autre côté climatique. En effet, le sol est devenu fragile et érodé. En plus le climat aride ou semi aride des régions steppiques présente des périodes de sècheresse très longues ce qui a accentué le problème. Tous ces paramètres ont un impact négatif sur son développement et son extension.

D’ou la nécessité d’étudier et analyser le comportement écophysiologique de cette espèce vis-à-vis de son environnement naturel par la mesure du potentiel hydrique de base et de midi et de la conductance stomatique du matin et de la mi-journée ainsi que le suivie de la croissance de la partie aérienne des touffes l’alfa par la mesure de leurs hauteur et diamètre.

2. MATERIELS ET METHODES

Matériel végétal

Notre étude a porté sur des touffes d’alfa « *Stipa tenacessima* » issus de cinq nappes alfatières en Tunisie : Essalloum, Guira, Zelfen (Kasserine) ; Oumlagsab (Gafsa) et Jelma (Sidi Bouzid).

Méthodes

Choix des sites

L’expérimentation a été effectuée dans trois sites d’étude localisée dans des différentes régions: Kasserine, Gafsa et Sidi Bouzid. Le choix a été basé selon le bioclimat, la distribution géographique et le relief.

Tableau 1 : Caractéristiques géographique, bioclimatique de relief de différentes populations d’alfa « *Stipa tenacessima* » en Tunisie

Site	Populations	Etage bioclimatique	Relief	Altitude	Latitude	Longitude
Kasserine	Essalloum	Semi aride inférieur	montagne	1225	35°05’	8°54’
Kasserine	Guira	aride inferieur	plaine	800	35° 02’	8°56’20’’
Kasserine	Zelfen	Semi aride superieur	plaine	1000	35°23'25"	8°47'5"
Gafsa	Oumlagsab	aride inferieur	plaine	650	35°47’35’’	8°22’
Sidi Bouzid	Jelma	aride	plaine	421	_	_

Mesure des paramètres hydriques et physiologiques

Les paramètres écophysiologiques et dentrométrique ont été effectuées suivant le cycle végétatif de la plante d’alfa (Eté : Juillet ; Automne : Novembre ; Hivers : Février).

- **Potentiel hydrique** :

La notion de ‘’potentiel hydrique’’ permet de comparer les états hydriques des milieux physiques (sol et ses différentes strates) et biologiques (plante et ses différents organes), et de déterminer le sens de circulation de l’eau. Il s’exprime en méga pascals ou en bars.

La cinétique du potentiel hydrique a été suivie au niveau de chaque site, deux mesures ont été prises, la première à l’aube (potentiel hydrique de base) la seconde au mi journée (potentiel hydrique de midi). Trois répétitions ont été faites pour chaque mesure et c’est la valeur moyenne qui a été retenue.

Le potentiel hydrique foliaire a été mesuré à l’aide d’une chambre à pression de Scholander et *al*. (1965) sur des feuilles bien développées. Bien que destructive, cette méthode à l’avantage d’être simple et rapide.

- Conductance stomatique:

Les techniques poromètriques décrites par Laffray et Louguet (1989) permettent de déterminer le degré d’ouverture stomatique en mesurant le flux de vapeur émis par la feuille à l’aide d’un poromètre

Delta T. Type ΔP4. Chaque résultat représente la moyenne de trois mesures pour la conductance stomatique de matin et de mi-journée.

Mesure des paramètres dendrométriques

La hauteur et le diamètre de la touffe ont été mesurés pour évaluer la croissance. La hauteur a été mesurée à partir du sol jusqu’à la pointe finale des feuilles d’alfa. Le diamètre a été mesuré à la base de la touffe, au niveau du sol ; en prenant la moyenne du petit et gros diamètre si la touffe est uniforme et la moyenne de diamètres perpendiculaires si la touffe est presque circulaire. Les mesures ont été faites sur 10 touffes au hasard.

3. RESULTATS

Etude des paramètres hydriques

Potentiel hydrique de base (ψb)

Les valeurs du potentiel hydrique de base (Ψbase) obtenues sont de l’ordre de -4,85 ; -3,05 ; -2,32 ; -3,32 ; -2,55 MPa pour le mois de juillet; -3.05 ; -1,37 ; -0,6 ;-0,9 et -1,275MPa pour le mois de novembre et -1,35 ; -1,07 ; -1 ;-1 et -0,97 MPa pour le mois de février respectivement à Jelma, Oumlagsab, Guira, Essalloum et Zelfen (Fig. 1a).

L’analyse statistique montre une différence significative entre les sites et entre les dates au seuil de 5%.

Potentiel hydrique de midi (Ψmin)

Les valeurs du potentiel hydrique de midi (Ψmin) obtenues sont de l’ordre de -5,5 ; -4,95 ; -3,4 ; -5,75 et -4.75 MPa pour le mois de juillet ; -6 ; -2,87 ; -2,92 ; -2,75 et -3,35 MPa pour le mois de novembre et -3,75 ; -2,92 ; -2,95 ; -2,55 et -2,75 MPa pour le mois de février respectivement à Jelma, Oumlagsab, Guira, Essalloum et Zelfen (Fig. 1 b).

L’analyse statistique montre une différence significative entre les sites et entre les dates au seuil de 5%.

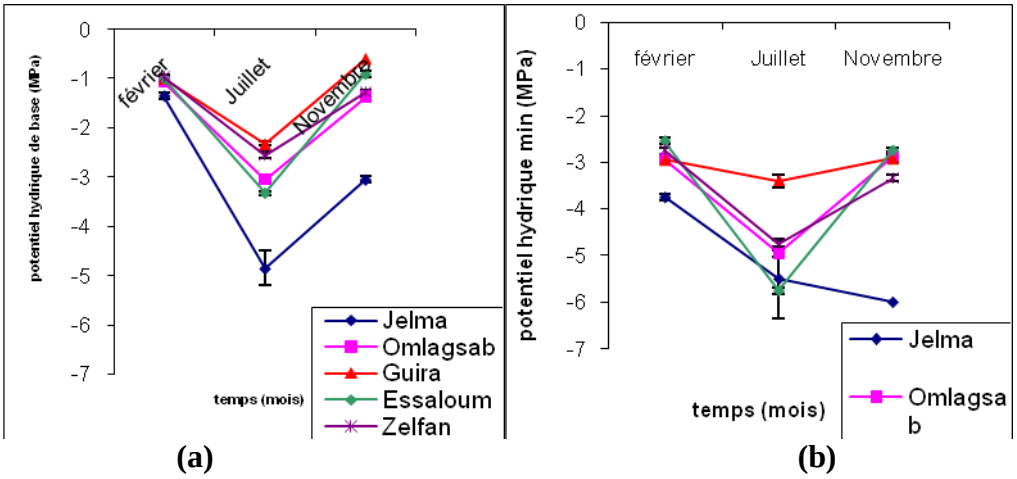


Figure 1. Variation du potentiel hydrique de base (Ψbase) (a) et du potentiel hydrique de midi (Ψmin) (b) pour le mois de février, juillet et novembre dans les cinq stations (Jelma, Essalloum, Zelfen, Oumlagsab et Guira).

Paramètres physiologiques

Conductance stomatique du matin (Gs)

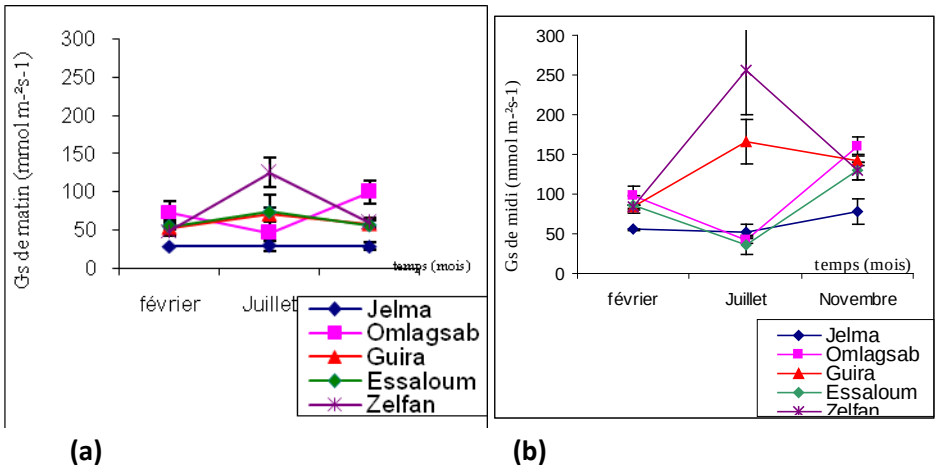
Les moyennes de la conductance stomatique du matin sont de l’ordre de 29,07 ; 46,33 ; 70,22 ; 73,66 et 125,11 mmol.m^{-2}.s^{-1} pour le mois de juillet ; 28,77 ; 99,33 ; 57,66 ; 56,22 et 59,55 mmol.m^{-2}.s^{-1} pour le mois de novembre et 28,28 ; 73,22 ; 52,83 ; 54,56 et 48,5 mmol.m^{-2}.s^{-1} pour le mois de février respectivement à Jelma, Oumlagsab, Guira, Essalloum et Zelfen (Figure. 2 a).

L’analyse statistique montre une différence significative entre les sites et entre les dates au seuil de 5%.

Conductance stomatique de mi-journée (Gsmin)

Les moyennes de la conductance stomatique du mi journée sont de l’ordre de 52,61 ; 42,83 ; 165,66 ; 35,48 et 257 mmol.m^{-2}.s^{-1} pour le mois de juillet ; 77,66 ; 160,88 ; 142,55 ; 129,33 et 129,22 mmol.m^{-2}.s^{-1} pour le mois de novembre et 55,28 ; 97,33 ; 84,33, 86,11 et 83,22 mmol.m^{-2}.s^{-1} pour le mois de février respectivement à Jelma, Oumlagsab, Guira, Essalloum et Zelfen (Fig. 2 b).

L’analyse statistique montre une différence significative entre les sites et entre les dates au seuil de 5%.



(a) **(b)**

Figure 2. Variation de la conductance temps stomatique du matin et de midi (Gs) pour les mois de février, juillet et novembre dans les cinq stations (Jelma,Essalloum, Zelfen, Oumlagsab et Guira)

4-DISCUSSION

Les valeurs du potentiel hydrique de base obtenues indiquent une contrainte hydrique dans toutes les populations avec un minimum à Guira (-2,32MPa), importante à Essalloum (-3,32 MPa) et Oumlagsab (-3,05 MPa) et très importante à Jelma (-4,85 MPa) au mois de Juillet. Le potentiel de base est un indicateur de l'état hydrique du sol dans la zone rhizosphérique (Hinckley *et al*, 1980 ; in Bationo, *et al*, 2001). Les valeurs relativement élevées de ce paramètre, pendant les périodes sèches témoignent d'une certaine accessibilité aux ressources hydriques disponibles du sol (Bationo, *et al*, 2001).

Le maintien d’un potentiel hydrique élevé est lié à l’aptitude à extraire l’eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d’eau par transpiration (Turner NC, 1986; in Amor S., *et al*, 2005).

Le potentiel hydrique de midi suit la même allure que le potentiel hydrique de base pour toutes les populations. Selon Ksontini (1996), le ψ_{midi} est corrélé avec l’humidité du sol et la transpiration. Louguet (1978) attribuent l’abaissement du potentiel hydrique de la feuille à l’abaissement du potentiel hydrique du sol.

La conductance stomatique de la mi-journée suit la même allure que la conductance stomatique de matin mais elle enregistre une augmentation pour toutes les populations durant les différents mois et au mois de Juillet, pour Zelfen (257mmol m-²s^{-1}),Guira (165,66 mmol m^{-2}s^{-1}) et Jelma (52,61mmol m^{-2}s^{-1}) contrairement aux populations d’Essalloum et Oumlagsab où on a noté un minimum par rapport à la matinée, plus importante à Zelfen (125,11 mmol.m^{-2}.s^{-1}) tandis qu’elles sont minimales pour la population d’Oumlagsab (46,33 mmol m-²s^{-1}).

La réduction de la perte en eau par la fermeture stomatique est un moyen d’adaptation des plantes à la sécheresse. Cette diminution de la transpiration peut engendrer une réduction de la photosynthèse. Ainsi, les génotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le déficit hydrique présentent une efficience de l’utilisation de l’eau (photosynthèse/transpiration) plus élevée et une plus grande capacité de survie (Araus JL, *et al*, 1991 ; in Amor S., *et al*, 2005).

Une hypothèse a été mise lors d’une étude portant sur Phaseolus vulgaris est que les plantes résistantes à la sécheresse au niveau cellulaire sont souvent capables de garder leurs stomates ouvertes et ont donc un fort potentiel d’assimilation du CO_2 lors de sévères déficits hydriques (Costa França MG, *et al*, 2000,in Clavel D., 2005).

Les valeurs de la conductance stomatique à la mi-journée sont plus élevées que celles du matin pour les populations de jelma, Zelfen et Guira et dans les différentes saisons indiquant une stratégie

d’adaptation à la sécheresse et une résistance plus marquée chez la population Zelfen et Guira. Tandis que celle d’Essalloum et Oumlagsab manifeste une fermeture stomatique partielle à la mi- journée seulement au mois de juillet ce ci pourrait être due au déficit hydrique manifesté par des valeurs basses de potentiel hydrique de base chez ces deux populations. En effet, La conductance stomatique (Gs) est en étroite corrélation avec le potentiel hydrique de base, lorsqu’on a un Ψb élevé la Gs augmente.

Paramètres dendrométriques

La hauteur

La hauteur moyenne des touffes d’alfa obtenue est de l’ordre de 64 ; 55,5 ; 51,8 ; 57,6 et 57 cm pour le mois de Juillet et de 78,2 ; 68,4 ; 54,6 ; 66,5 et 42,9 cm pour le mois de Novembre. De 81 ; 58,7 ; 53,3 ; 66 et 42 cm au mois de Février respectivement à Jelma, Oumlagsab, Guira, Essalloum et Zelfen (Fig. 3 a et b).

L’analyse statistique montre une différence significative entre les sites et entre les dates au seuil de 5%.

Le Diamètre

La valeur moyenne obtenue est de 54,4 ; 36,9 ; 29,9 ; 37,8 et 61,8 cm pour le mois de Juillet. De 109,3 ; 80,8 ; 55,2 ; 49,9 et 45,4 cm au mois de Novembre et de 55,9 ; 31,6 ; 43,5 ; 68,3 et 30,6 cm au mois de Février respectivement à Jelma, Oumlagsab, Guira, Essalloum et Zelfen (Fig. 3 c et d).

L’analyse statistique montre une différence significative entre les sites et entre les dates au seuil de 5%.

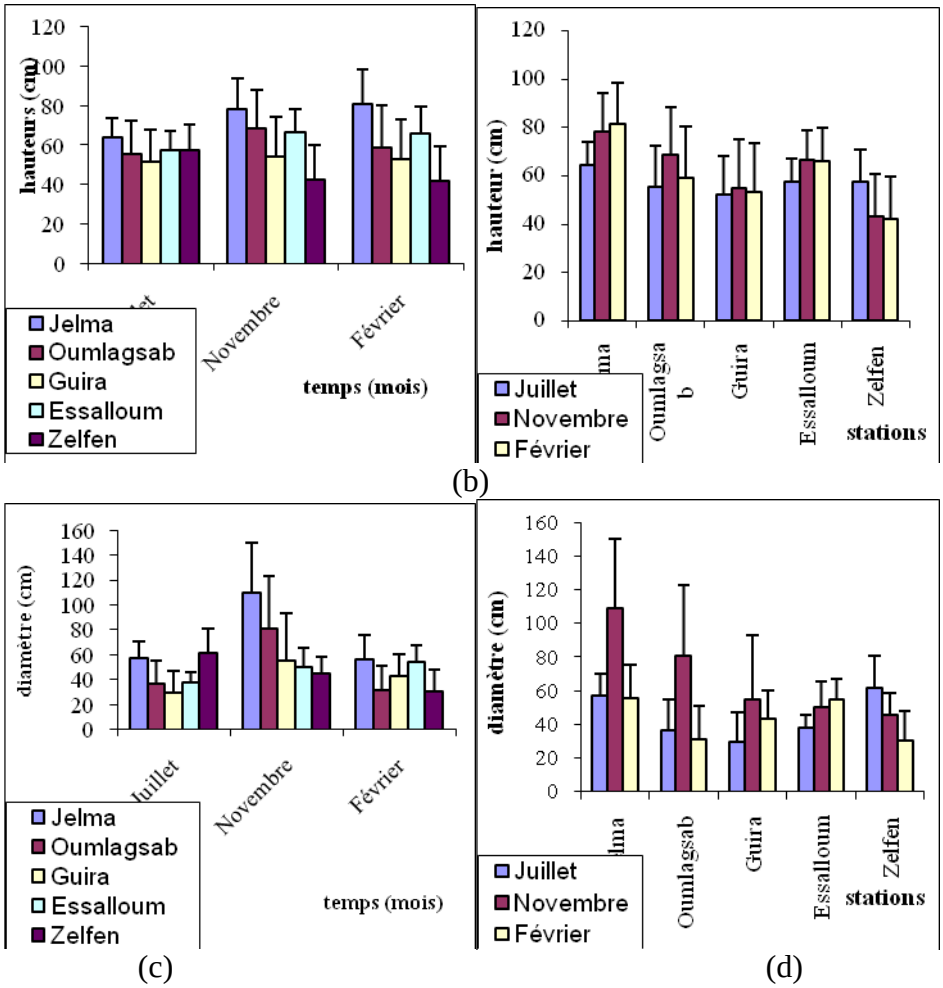


Figure 3. Variation de la hauteur en fonction des stations (Jelma, Oumlagsab, Guira, Essalloum et Zelfen) (a) et en fonction des saisons (Juillet, Novembre et Février) (b) et la variation du diamètre en fonction des stations (c) et en fonction des saisons (d) des touffes d’alfa.

La croissance de la partie aérienne des touffes d’alfa est plus importante en hauteur et en diamètre chez la population Jelma (78,2 et 109,3 cm) et à un degré moindre à Oumlagsab (68,4 et 80,8 cm) par contre elle est plus faible chez la population Zelfen (42,9 et 45,4 cm) pour le mois de novembre. Cette différence pourrait être due à l’état de la nappe (densité). Avec l’amélioration des conditions climatiques, les limbes s’allongent davantage avec un taux d’accroissement de plus en plus élevé (Ghrab, 1981).

Nos résultats ont montré, aussi, que la croissance en hauteur et en diamètre des touffes d’alfa est minimale au mois de juillet ; avec un diamètre plus important (61,8cm) à Zelfen et une hauteur plus élevé à Jelma (67 cm). Cette baisse de croissance pourrait être due à une diminution de l’extension cellulaire qui représente l’une des premières réponses à la sécheresse (Durand *et al*,1995 ; Freitas, 1997) et étant donné que la composition foliaire de Stipa tenacissima L. en lipides totaux et en acides gras à l’été est représenté par un ensemble d’acides gras saturés (acide laurique, acide myristique, acide palmitique et acide stéarique) caractéristiques des états de résistance à la sécheresse (Mehdadi, *et al*,2006).

En hivers (février), l’accroissement est nul pour toutes les populations. Malgré les réserves hydriques du sol qui sont élevées, l’alfa présente un ralentissement de sa croissance végétative. Il manifeste une importante sensibilité vis-à-vis des basses températures qui sont défavorables à la poursuite de son processus photosynthétique. Cette constatation est mentionnée par (Ehleringer et bjorkman, 1977 ; Ehleringer, 1978 ; Acevedo *et al*, 1985). De cela découle que le cycle végétatif de l’alfa est caractérisé par deux périodes ; une période de vie active au printemps et en automne mais plus intense au printemps et une période de vie ralentie en été et en hiver.

5. CONCLUSION

L’alfa (*Stipa tenacissimaL.*) est une espèce vivace qui se développe dans une gamme climatique très étendue. Elle a une grande importance éco-socio-économique. Les effets conjugués de la pression anthropique croissante et des conditions climatiques sévères engendrent des dysfonctionnements de l’écosystème alfatier. Ces effets sont amplifiés par les modes et systèmes inappropriés d’exploitation des nappes alfatières disponibles, Ce qui conduit à leurs régressions. Cette étude s’intéresse à l’étude de son comportement hydrique et physiologique. Les résultats ont montréune stratégie d’adaptation à la sécheresse et une résistance plus marquée chez la population de Zelfen et Guira. Tandis que celle d’Essalloum et Oumlagsab manifeste une fermeture stomatique partielle à la mi- journée seulement au mois de juillet ce ci pourrait être due au déficit hydrique manifesté par des valeurs basses de potentiel hydrique de base chez ces deux populations.

En effet, la conductance stomatique (Gs) est en étroite corrélation avec le potentiel hydrique de base, lorsqu’on a un Ψb élevé la Gs augmente. Le statut hydrique et le comportement physiologique de cette espèce montrent qu’elle est résistante à la sécheresse.

Pour la croissance de la partie aérienne des touffes d’alfa est plus importante en hauteur et en diamètre chez la population Jelma et à un degré moindre à Oumlagsab par contre elle est plus faible chez la population Zelfen au mois de novembre (automne). Elle est Minimale pour toutes les populations au mois de juillet (été) et nulle au mois de février (hivers).

Le cycle végétatif de l’alfa est caractérisé par deux périodes ; une période de vie active au printemps et en automne et une période de vie ralentie en été et en hiver.

REFERENCES BIBLIOGRAHIQUES

-Amor S., Ben Salem M., M’barek Ben N., Ezziddine Z. (2005) : in Science et changement planétaire / Sécheresse. Volume 16, Numéro 3, juillet-août-septembre 2005, article de recherche .Cereals in Tunisia: production and resistance mechanisms to drought.

-Bationo B.A., Ouedraogo S.J., Alexandre D-Y., Guinko S., (2001) : Statut hydrique de quatre espèces ligneuses soudaniennes dans la forêt de Nazinon, Burkina Faso. Science et

changement planétaire / Sécheresse. Volume 12, Numéro 2, 87-94, Juin 2001, Notes originales.

-Clavel D., Drame N.K., Diop N.D., Y Z-F., (2005) : Adaptation à la sécheresse et création variétale : le cas de l’arachide en zone sahélienne. Oléagineux corps gras lipides, Volume 12, Numéro 3, 248-60, Mai Juin 2005.

-Mehdadi Z., Benaouda Z., Belbraouet S., Benhassaini H., Hamel I., Benali M., (2006) : Évolution saisonnière de la composition foliaire de Stipa tenacissima L. en lipides totaux et en acides gras. Science et changement planétaire / Sécheresse. Volume 17, Numéro 4, 493-8, Octobre-Novembre-Décembre 2006, Article scientifique.

-Ghrab S., (1981) : Etude de la variabilité éco-phénologique de l'alfa en Tunisie centrale. Application en vue de la sauvegarde et l'amélioration des nappes alfatières. Thèse doctorat. Fac. Sci. Et tech. S^{t} Jerome. 135p.

-Ksontini M. (1996) : Etude ecophysiologique des réponses à la contrainte hydrique du chêne liège (*Quercus suber*) dans le Nord–Tunisie: comparaison avec le chêne Kermès (*Q. coccifera*) et le chêne zeen (*Q.faginea*) Thèse université Paris XII Val De Marne, 157p.

Comportement écophysiologique et biochimique de l’olivier variété "Chemlali Sfax" cultivé en plein champ en relation avec les conditions hydriques et édaphiques

Bagues Mohamed[1, 2 et 3], Kamel Nagaz[3], Béchir Ben Rouina[2]
[1] Faculté des sciences, Université de Sfax, BP 1171 Sfax 3000, Tunisie
[2] Laboratoire d’Amélioration de la Productivité de l’olivier et de la Qualité de produit, Institut de l’olivier, BP 1087. 3000 Sfax, Tunisie
[3] Laboratoire d’Aridoculture et Cultures Oasiennes, Institut des Régions Arides, 4119 Médenine, Tunisie.
Email : bagues007@gmail.com

RESUME
En Tunisie, les olives sont cultivées dans le pluviale, de graves conditions arides. Pour déterminer le comportement des oliviers (cv. Chemlali Sfax) au cours de la grave sécheresse qui affecte les zones arides tunisiennes en 2002, une série de paramètres physiologiques et biochimiques tels que le contenu relatif en eau (RWC), la concentration en chlorophylles et en caroténoïdes et la teneur en matière minérale (N et P) en relation avec le milieu édaphique ont été étudiée dans trois vergers voisins durant la période s’étalant de mars à juin 2012. Deux vergers d'oliviers étaient pluviale, l'un situé sur un sol sablonneux (SS), et l'autre sur un sol argilo-sableux-limoneux (SM). Un troisième verger a été également situé sur un sol sablonneux, mais a reçu une irrigation correctives (SSI) (415 mm d'eau par année, environ 40% de l'évapotranspiration d'olive). En effet, le RWC évolue entre un minimum de 87,48 % au mois de mars et un maximum de 93,38 % au mois de juin. La faible valeur du RWC durant le mois du mars découle de la date tardive de la reprise de l’irrigation des oliviers qui entamée au début de ce mois. Par contre, chez les individus conduit en pluvial, les valeurs du RWC diffèrent selon la nature du sol (SM et SS). En effet, elles atteignent 92,37 % et 91,52 % au mois de mars durant la saison pluviale. Ces valeurs diminuent en fonction du temps et atteignent 87,24 % et 84,44 % au mois de mai. Au mois de juin quand le climat devient sec, le RWC reste constant chez les oliviers évoluant sur le sol sableux (SS) et baisse davantage (82,74 %) chez les individus cultivés sur un sol marginal (SM). Pour les pigments photosynthétiques (chla, chlb, chla+b et caroténoïdes), les teneurs élevées de chaque élément sont enregistrées chez les arbres cultivés sur un sol sableux profond et conduit en irrigués durant la saison printanière (Mars et Avril). Ces teneurs ont pour valeurs maximales respectives de 1,36 ; 0,87 ; 2,39 et 0,71 mg/g de MF pour la chlorophylle a, la chlorophylle b, la chlorophylle a+b et les caroténoïdes. Ces teneurs élevées correspondent à un apport hydrique important (Pluie le 13/04/2012) en plus de l’irrigation. Au mois de Juin, où les précipitations deviennent rares, ces valeurs subissent un chute notable (0,79 ; 0,46 ; 1,35 et 0,38 mg/g de MF, respectivement, pour la chlorophylle a, b, a+b et les caroténoïdes). De ces résultats, on constate qu’une amélioration hydrique importante est bénéfique sur ces paramètres. Finalement, pour la teneur en matière minérale (N et P), les fortes valeurs sont observés chez les individus conduit en irrigué SSI par rapport à ceux conduit en pluvial SM et SS ce qui montre l’existence d’une relation étroite entre l’alimentation hydrique et la teneur de ces éléments, aussi la nature de sol joue un rôle important dans la disponibilité de ces éléments dans la plante.
Mots clés : olivier, stress hydrique, RWC, chlorophylle, caroténoïdes et matière minérale.

1. INTRODUCTION

En Tunisie dominée par un climat aride à été chaud et sec (la température moyenne peut excéder 34°C avec un maximum de 45°C observé durant le mois d’août), un hiver doux et des températures modérées durant l’automne et le printemps (25 et 29°C, respectivement) (Ben Ahmed . 2004, Ben Rouina. 2007), l'une des plantes les plus répandues est l'olivier (*Olea europaea* L). Cette plante joue un rôle économique, social et écologique important et indéniable. Il occupe le tiers des terres labourables et plus de 80% des surfaces réservées à l'arboriculture fruitière. Sa grande capacité d’adaptation aux avaries du climat et du sol dans ce milieu, en font la seule culture à rente économique viable. C’est pour cette raison que des études sont faites concernant son comportement biochimique et écophysiologique vis-à-vis au stress hydrique, en plein champ.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériel végétal

L’expérimentation a été réalisée sur des individus d’oliviers (*olea europaea*. L) cultivar chemlali plantée sur deux types de sol différents. Cette variété est la plus répandue dans les oliveraies tunisiennes, elle occupe 69% de la superficie des oliveraies (Bayouth, DGPA, 2009).

Anciennement nommée Sahli, cette variété occupe la majeure partie des oliveraies de Sfax. Elle est auto-compatible et caractérisée par une capacité rhizogène faible, une floraison précoce, une productivité élevée et alternante.

L’importante caractéristique de cette variété qu’elle est résistante à la sécheresse (catalogue mondiale des variétés d’olivier, 2000).

2.2. Prélèvement et préparation des échantillons

Les échantillons sont prélevés chaque mois d’une façon régulière durant la période d’étude (mars 2012 à Juin 2012).

Les échantillons fraîchement récoltés sont ramenées au laboratoire dans des sacs en plastiques, où les feuilles et les brindilles sont séparées chacun à part qui sera divisé en deux lots :

- Le premier lot est immédiatement conservé dans le congélateur à -4°C sert pour les analyses biochimiques.
- Le second lot est lavé à l’eau de robinet, rincé à l’eau distillée et égoutté puis sont mis dans des paquets en kraft étiquetés et placés dans une étuve à 70°C(48 heures généralement). Ainsi séchés, ces échantillons sont broyées à l’aide d’un broyeur électrique, les poudres végétales ainsi obtenues sont conservés dans des piluliers et utilisés pour d’autres analyses.

2.3. Condition climatique

Les paramètres climatiques enregistrés durant la période d’étude sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Variation mensuelle des températures et des pluviométries dans la région de Sfax au cours de la période d’étude

Mois	**Mars**	**Avril**	**Mai**	**Juin**
T° Max (°C)	19,5	21,8	25,4	28,9
T° min (°C)	8,4	11	14,4	17,8
T° moy (°C)	13,9	16,4	19,9	23,3
Pluviométrie (mm)	23	18	9	4
Nombre de jours pluvieux	6	5	4	2

Source: (INM, 2012)

2.4. Condition édaphique

2.4.1. Morphologie du sol sableux (SS)

La granulométrie du sol SS est présentée dans le Tableau 2.

Tableau 2. Granulométrie du sol sableux (SS)

Profondeur de l'horizon	Granulométrie (en %)					Densité du sol (g/cm^3)
	A	L	STF	SF	SG	
Parcelle à sol favorable à l’oléiculture (SS)						
0 - 20	4,7	1,3	4,1	78,5	11,4	1,62
20 - 115	3,5	1,1	3,8	87,9	3,7	1,65
115 - 125	8,3	4,1	6,2	78,1	3,8	1,61
125 - 185	10,3	5,7	1,9	78,3	3,8	1,60
185 - 235	10,8	4,4	2,5	78,5	3,9	1,58

A = argile $\Phi < 2$ µm ; L = limon $2 < \Phi < 20$ µm ; STF = sable très fin $20 < \Phi < 50$ µm ;
SF = sable fin $50 < \Phi < 200$ µm et SG = sable grossier $200 < \Phi < 2000$ µm.

2.4.2. Morphologie du sol marginal (SM)

La granulométrie du sol SM est présentée dans le Tableau 3.

Tableau 3. Morphologie du sol sablo-argilo-limoneux (SM).

Profondeur de l'horizon	Granulométrie (en %)					Densité du sol (g/cm^3)
	A	L	STF	SF	SG	
Parcelle à sol favorable à l’oléiculture (SS)						
0 - 20	11,4	8,5	6,4	71,8	1,9	1,45
20 - 45	15,6	18,5	30,5	54,1	1,3	1,49
45 - 75	33,5	19,4	35,5	10,8	0,8	1,58
75 - 160	31,3	15,5	15,5	36,7	1,0	1,78
> 160	43,1	38,8	14,7	3,2	0,2	1,75

A = argile Φ< 2 µm ; L = limon 2 <Φ< 20 µm ; STF = sable très fin 20 <Φ< 50 µm ; SF = sable fin 50 <Φ< 200 µm et SG = sable grossier 200 <Φ< 2000 µm.

2.5. Analyse statistique

Les analyses statistiques de tous les paramètres étudiés ont été faites en utilisant le logiciel SPSS 20 (Statistical Package for the Social Sciences) avec l’utilisation du test de Duncan ($\alpha = 0.05$) qui a permis de faire une comparaison entre les différents traitements.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Le contenu relatif en eau (RWC)

Les résultats consignés sur la Figure 1 montrent que le RWC est tributaire du mode de conduite de la culture. Chez les arbres irrigués (SSI), recevant l’équivalent de 415 mm de pluie par an, ce paramètre est continuellement élevé en fonction du temps.Il évolue entre un minimum de 87,48 % au mois de mars et un maximum de 93,38 % au mois de juin. La faible valeur du RWC durant le mois du mars découle de la date tardive de la reprise de l’irrigation des oliviers qui entamée au début de ce mois. Ce retard découlant d’une cueillette tardive des olives (fin février 2012) a induit un déficit hydrique durant cette période. Durant les mois d’après, les valeurs du RWC ont augmenté pour atteindre un maximum de 93,38 % au mois de juin et en plein régime d’irrigation.

Chez l’olivier conduit en pluvial, les valeurs du RWC diffèrent selon la nature du sol (SM et SS). En effet, elles atteignent 92,37 % et 91,52 % au mois de mars durant la saison pluviale. Ces valeurs diminuent en fonction du temps et atteignent 87,24 % et 84,44 % au mois de mai. Au mois de juin quand le climat devient sec, le RWC reste constant chez les oliviers évoluant sur le sol sableux (SS) et baisse davantage (82,74 %) chez les individus cultivés sur un sol marginal (SM). Statistiquement, les différences observées en juin sont significatives à $p \leq 0,05$ entre les individus des 3 parcelles.

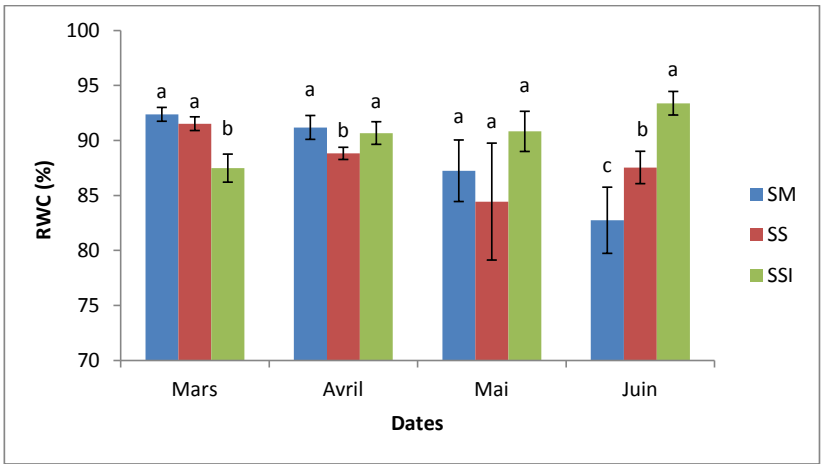


Figure 1. Evolution mensuelle du contenu relatif en eau chez l’olivier Chemlali Sfax, conduit au plein champ en pluvial ou en irrigué sur deux types de sol.

Ces différences renseignent sur l’impact de la texture du sol (parcelles SS et SM) et sur le mode de conduite (parcelles SS et SSI) induisant des effets significatifs sur le statut hydrique du sol affectant à son tour l’alimentation hydrique des arbres. En d’autres termes, grâce à une humidité meilleure de la rhizosphère, un système racinaire plus puissant et une régulation stomatique plus performante, l’olivier évoluant sur un sol sableux profond souffre moins de la sécheresse continue que celui cultivé sur un

sol marginal. Donc on peut conclure que le RWC est proportionnel au déficit hydrique, ce qui est en accord avec les travaux de Giorio et *al* (1999).De même, un effet positif de l’apport hydrique sur le contenu relatif en eau est récemment observé chez la variété d’olive à l’huile « Chamlali » (Ben Ahmed et *al*, 2007). Aussi, Guerfel et *al* (2009) ont montré chez la même variété que le RWC diminue en fonction de degré de stress hydrique, ces valeurs passent de 80 % à 64 % après un stress sévère.
Les valeurs élevées du RWC sont dues aux faibles valeurs de la conductance stomatique (stomates fermées en cas du stress) qui permettent aux plantes conduit en culture pluviale de transpirer moins d’eau que celles bien irriguées ce qui contribue à des valeurs importantes du RWC. Ce constat est en accord avec celui observé par Wahbi et *al*, (2005) et Liu et *al*, (2006).

3.2. Les pigments photosynthétiques (chla, chlb, chl a+b et caroténoïdes)

Les résultats consignés sur les Figures 2, 3, 4 et 5 montrent, respectivement, que la teneur en chlorophylle a, b, a+b et en caroténoïdes fluctuent dans un même rythme. En effet, les teneurs élevées de chaque élément sont enregistrées chez les arbres cultivés sur un sol sableux profond et conduit en irrigués durant la saison printanière (Mars et Avril). Ces teneurs ont pour valeurs maximales respectives de 1,36 ; 0,87 ; 2,39 et 0,71 mg/g de MF pour la chlorophylle a, la chlorophylle b, la chlorophylle a+b et les caroténoïdes. Ces teneurs élevées correspondent à un apport hydrique important (Pluie le 13/04/2012) en plus de l’irrigation.
Au mois de Juin, où les précipitations deviennent rares, ces valeurs subissent un chute notable (0,79 ; 0,46 ; 1,35 et 0,38 mg/g de MF, respectivement, pour la chlorophylle a, b, a+b et les caroténoïdes). De ces résultats, on constate qu’une amélioration hydrique importante est bénéfique sur ces paramètres. Ce constat est en accord avec celui de Chehab et *al* (2002) ayant montré, chez les variétés d’olivier de table, que la concentration chlorophyllienne augmente avec l’augmentation de la dose d’irrigation. Laouar et *al*. (1981) ont rapporté des résultats similaires chez la variété Chemlali, pour des traitements hydriques de 100, 75 et 50% de l’évapotranspiration potentielle.
De même, Guerfel et *al*. (2008) ont noté que le déficit hydrique a causé une réduction importante de la concentration en chlorophylle (a+b). Cette réduction de la concentration de chlorophylle est attribuée à sa photo-inhibition et la photo-destruction des pigments par des espèces d’oxygène actives (Loggini et *al*, 1999).

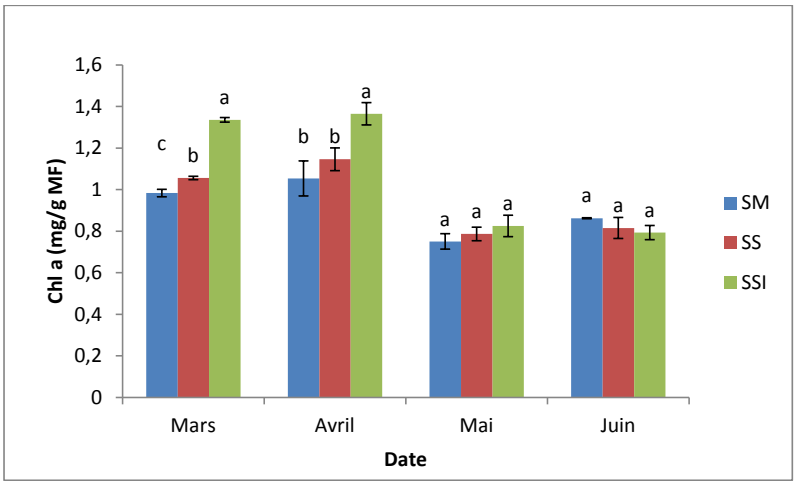


Figure 2. Evolution mensuelle de la teneur en chlorophylle (a) chez l’olivier Chemlali Sfax conduit au plein champ en pluvial ou en irrigué sur deux types de sol

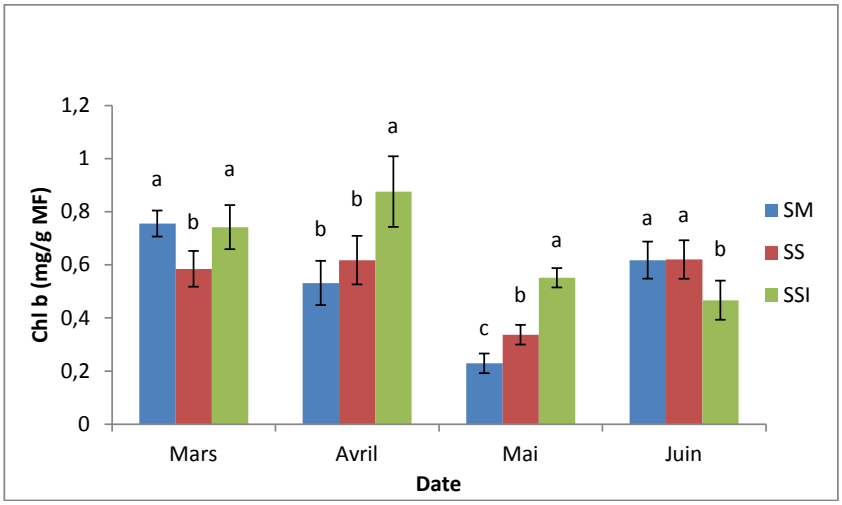


Figure 3. Evolution mensuelle de la teneur en chlorophylle (b) chez l’olivier Chemlali Sfax conduit au plein champ en pluvial ou en irrigué sur deux types de sol.

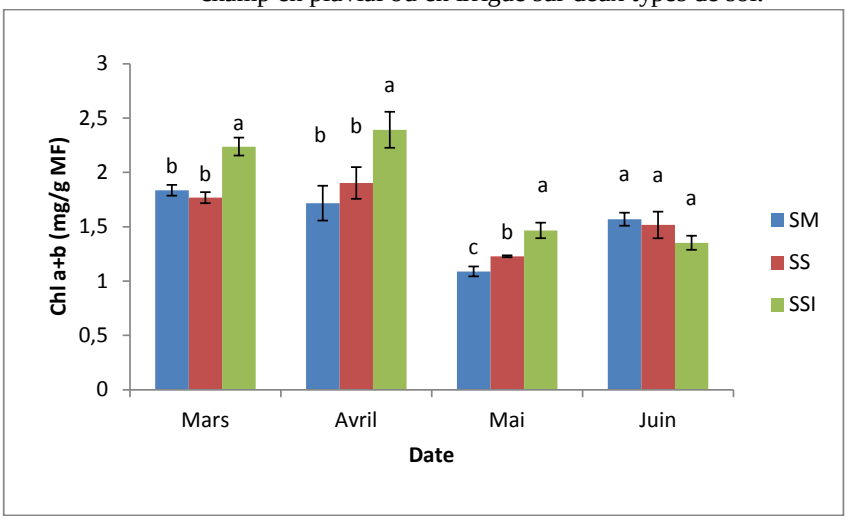


Figure 4. Evolution mensuelle de la teneur en chlorophylle (a+b) chez l’olivier Chemlali Sfax conduit au plein champ en pluvial ou en irrigué sur deux types de sol.

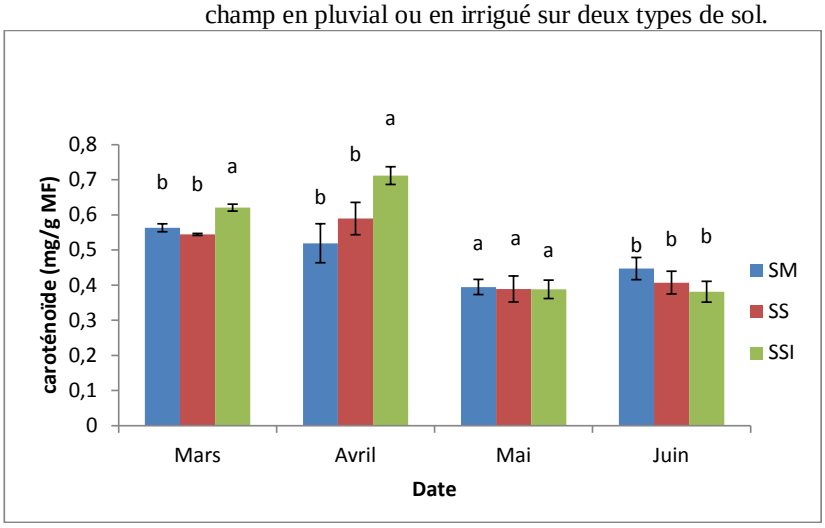


Figure 5. Evolution mensuelle de la teneur en caroténoïde chez l’olivier Chemlali Sfax conduit au plein champ en pluvial ou en irrigué sur deux types de sol.

Malgré un approvisionnement adéquat en eau des arbres évoluant sur un sol sableux irrigué durant les mois de mai et de juin (RWC respectifs de 93,4 % chez les arbres SSI, 87,5 % et 82,7 % chez ceux des

parcelles SS et SM), leurs concentrations foliaires en chlorophylles et en caroténoïdes sont plus faibles. Cela tire origine de leur statut biologique. En effet, les arbres irrigués présentent une forte floraison et par la suite une bonne nouaison (année On) ; alors que les arbres conduits en pluvial sur les autres parcelles sont en année Off (absence de floraison et de production).

Ces résultats concordent avec ceux auparavant obtenus par Ben Rouina et *al*, (2007 et 2011) et montrant que l’olivier Chemlali mobilise de grandes quantités de métabolites en vue d’assurer la floraison et la production.

Statistiquement, les différences enregistrées entre les individus évoluant dans les trois parcelles sont significatives à $p \leq 0,05$.

4. CONCLUSIONS

A travers le suivie de paramètre physiologique (RWC) et biochimiques (chla, chlb, chl a+b et caroténoïdes), les résultats obtenus montrent que le statut hydrique exprimé par le contenue relatif en eau (RWC) est important chez les individus conduits en irrigué (SSI) par rapport à ceux en pluvial (SM et SS), il dépend aussi du milieu édaphique. Les valeurs du RWC sont importantes chez les arbres cultivés sur un sol sableux profond (SSI et SS) par rapport à ceux cultivés sur un sol marginal à texture sablo argilo limoneux (SM). Ceci montre que le sol sableux profond est favorable à la culture de l’olivier « Chemlali » que le sol marginal.

Les pigments photosynthétiques (chlorophylles a et b) et caroténoïdes sont influencés par les apports d’eau. Plus ces apports sont importants, plus les concentrations de ces éléments sont élevées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Bayouth, DGPA. (2009) : Séminaire national ‘l’oléiculture en Tunisie’, Sfax.

-Ben Ahmed Ch. (2004) : Contribution à l’étude de la photosynthèse et du statut minéral chez l’olivier Chemlali (*Olea europaea*) conduit en irrigué. Mémoire de 3éme cycle. FSS. p. 69.

-Ben Ahmed Ch, Ben RouinaB, Boukhris M. (2007) : Effects of water deficit on olive trees cv. Chemlali under field conditions in arid region in Tunisia. Scientia Horticulturae, 113, 267-277.

-Ben Rouina B, Trigui A, d’Andria R, Boukhris M, Chaïeb M. (2007) : Effects of water stress and soil type on photosynthesis, leaf water potential and yield of olive trees (*Olea europaea* L. cv Chemlali Sfax). Aust. J. Exp. Agric, 47, 1484-1490.

-Ben Rouina B. (2007) : Etude des relations sol- eau- plante et de l’effet du stress hydrique sur la croissance et la fructification de l’olivier (*Olea europaea* L) en période de sécheresse. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences de Sfax, p 237.

-Ben Rouina B, Ben Ahmed Ch, Ben Abdallah F, Boukhris M. (2011) : L’irrigation de l’olivier aux eaux salines : effets sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et sur le comportement de l’arbre. Workshop international : les ressources en eau dans la plaine de Kairouan : Contraintes naturelles et évolution sociale. 9 – 10 Nov 2011. Tunis, Tunisie.

-Chehab H, Braham M, Boujnah D, Ben el hadj S. (2002) : Comportement écophysiologique de trois variétés d’olivier de table (Olea europaea L. cv. Meski, Manzanille et Picholine) en rapport avec le régime hydrique. Ann. de l’INRAT , 75, 151-171.

-Giorio P, Sorrentino G, d’Andria R. (1999) : Stomatal behaviour, leaf water status and photosynthetic response in field-grown olive trees under water deficit. Environmental and Experimental Botany, 42, 95-104.

-Guerfel M, Olfa Baccouri O, Boujnah D, Chaıbi W, Zarrouk M. (2008) : Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. Scientia Horticulturae, 119, 257–263.

-Guerfel M, Baccouri O, Boujnah D, Chaibi W, Zarrouk M. (2009) : Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. Sci. Horticult., 119, 257-263.

-INM. (2012) : Institut Nationnal de Météorologie de Tunisie.

-Liu F, Shahnazari A, Anderson M.N, Jacobsen S, Jensen C.R. (2006) : Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. Scientia Horticulturae, 109, 113-117.

-Loggini B, Scartazza A, Brugnoli E, Navari-Izzo F. (1999) : Antioxidative defence system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. Plant physiol, 119, 1091-1099.
-Laouar S, Viera da silva J. (1981) : Annual variation of photosynthesis of olive tree under differing conditions and related to chlorophyll accumulation. Components of productivity of Mediterranean-Climate Region-Bsic and Apllied. 71-75.
-Wahbi S, Wakrim R, Aganchich B, Serraj R. (2005) : Effects of patial rootzone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea* L.) in field conditions under arid climate. I. Physiological and agronomic sesponses. Agric. Ecosys. Environ, 106, 289-301.

Comportement de différents sols emblavés de maïs fourrager sous l’effet de la salinité combiné aux effets du changement climatique: Approche bio-économique

Mlaouhi Saida[1], Boujelben Abdelhamid[2], Elloumi Mohamed[1], HchichaMohamed [3]
[1]Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie, Tunis, Tunisie
[2]Institut Supérieur Agronomique de Chott Meriem, Sousse, Tunisie
[3]Institut National de la Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts, Tunis, Tunisie

RESUME
Dans un cadre global d’une agriculture durable et de préservation des sols irrigués contre la salinisation. On a réalisé un travail dans le quel on a adopté une approche bio économique, basée sur le couplage de modèles agro économiques, pour étudier le comportement des sols occupés par une culture de maïs fourrager dans un périmètre public irrigué situé dans la basse vallée de la Medjerda. Aussi on a analysé la réponse de la culture du maïs fourrager aux effets de la salinité conjugués aux effets du changement climatique et les impacts sur les marges brutes de cette culture. Pour ce faire, on a réalisé une enquête auprès des exploitations installées dans ce périmètre et on a choisi à l’aide d’un outil statistique basé sur une analyse en composante principale, six exploitations types appartenant à 6 groupes capitalisant le maximum d’éléments de ressemblance. On a construit six modèles biophysiques individuels relatifs à ces exploitations. Couplés avec des modèles économiques, ils ont fait ressortir que les moyennes de la salinité des trois sols emblavés par le maïs fourrager subiront une augmentation variable selon les exploitations et les profils du sol. Accentuée par le changement climatique, elle pourra atteindre 4.5 dS/m en profondeur. Cette salinité sera atténuée en doublant la quantité d’eau appliquée initialement par l’exploitation type EXP11 et en augmentant de 20% les quantités d’eau appliquées par les exploitations types EXP6 et EXP20. Cependant les moyennes des rendements du maïs subiront des baisses qui peuvent atteindre 15 tonnes/ha. Ces baisses seront redressées par une irrigation complémentaire et l’augmentation des moyennes des rendements pourra atteindre 19 tonnes/ha. Les effets sur la marge brute seront positifs.
Mots clés: Salinité, changement climatique, durabilité, modélisation bio économie, simulation.

1. INTRODUCTION

Pour satisfaire les besoins colossaux en nourriture (céréales et produits animaux) de la population, la production alimentaire devrait d’ici 2050 augmenter en moyenne de 70% (Collomb, 1999*)*, voire de 100% pour les pays en développement. Les surfaces mondiales de terres cultivées quant à elles devraient augmenter de 43% à un rythme de 6,8 millions d’hectares par an *(*Dorin et Paillard, 2009). La progression de la production ne pourrait être obtenue que par le développement de l’irrigation. Pour la Tunisie,le développement des périmètres irrigués est une priorité. Mais, plus de 70 % des terres sont irriguées avec une eau de salinité supérieure à 1,5 g/l, ce qui a entraîné la dégradation des terres par la salinisation. 30% des terres irrigués sont affectés. Certains périmètres irrigués ont dû être totalement abandonnés *(*CIHEAM, *2005)*. C’est donc une vraie menace pour les prochaines décennies. L’Etat Tunisien a beaucoup investis pour la réutilisation des eaux usées traitées (EUT). Cependant, sur un volume de 169 millions de m3 collectés, seulement 35 millions de m3, ont été réutilisés pour l’irrigation contre un objectif de 100 millions de m3 *(*Neubert et Ben Abdallah, *2003)*. Le périmètre public de Cebala situé dans la basse vallée de la Medjerda, a été aménagé pour intensifier la production des exploitations agricoles par la REUT. Cependant, le taux d’intensification n’a pas dépassé 48 % depuis 1995/96 (CRDA de l’Ariana, 2005). En outre, les EUT réutilisées pour l’irrigation ont souvent une charge en sel de 3 à 4 g/l. Il faut donc s’attendre à des pertes de revenus pour les agriculteurs en plus du risque d’un excès de salification des sols (Neubert et Ben Abdallah, 2003). Ce travail s’inscrit donc dans le cadre global de préservation de l’environnement *(Vermersch, 2001)* etde conduite d'une agriculture durable. Il vise donc à déterminer le seuil optimum technique et économique de la réutilisation des eaux usées traitées, qui à long terme, préserverait la fertilité du sol et évitera sa salinisation et d’assurer des revenus plus ou mois stables. Pour cela, nous avons adopté un modèle biophysique, le "CropSyst" *(Stöckle et al., 1994; Stöckle et al., 2003)* qui après calibrage et validation, il a autorisé des simulations à long terme des rendements agricoles en

fonction de la salinité du sol. Ces simulations ont permis d’étudier le comportement de différents sols et la réponse de la culture du maïs fourrager et l’impact du changement climatique sur les rendements de cette culture et la salinité du sol. Couplé avec un modèle économique, il a permis d’analyser les impacts sur la marge brute de la culture du maïs pour chaque exploitation.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Collecte des donnéeset enquêtes

Nous avons collecté des données pédologiques et climatiques du périmètre Cebala. Ces données ont concerné la température minimale et maximale, la pluviométrie, la vitesse du vent, l’humidité relative minimale et maximale ainsi que la radiation solaire de 26 années de 1983 à 2008, le degré de salinité et la texture du sol, la qualité de l’eau utilisée. D’autres informations collectées ont concerné l’historique des exploitations, leurs identifications, leurs systèmes de production et d’irrigation, les cultures installées, la taille des troupeaux bovin et/ou ovins s’il y a lieu.

2.2. Choix des exploitations types

Les exploitations enquêtées sont au nombre de 83 et de taille allant de 1 à 170 ha. Elles présentent toutes la caractéristique d’être irriguées avec des eaux usées traitées. En se basant sur certains critères de discrimination retenus des exploitations enquêtées et à l’aide d’un outil statistique permettant une analyse en composante principale "ACP" (Philippeau, 1986), nous avons pu reproduire une image composite (Perrot et al, 1993) que l’on essaie de décrire en termes de pôles d’agrégation aussi nettement différenciés que possible. Cette analyse a été utilisée pour identifier des classes d’agriculteurs selon des axes de tendance (Hanafi et *al.*, 2007). Elle nous a permis d’isoler 6 groupes distincts d’exploitations, capitalisant le maximum d’éléments de ressemblance et de choisir 6 exploitations (*EXP 6, EXP11, EXP20, EXP26, EXP48 et EXP64*). Ce choix a été renforcé par le critère " type de sol" auquel appartient chaque exploitation type. Les exploitations retenues pour cette étude dotées de leurs caractéristiques, ainsi que les quantités d’eau appliquées initialement pour irriguer le blé dur sont regroupées dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques des exploitations types retenues

Exploitations[1]	**EXP6**	**EXP11**	**EXP20**	**EXP26**	**EXP48**	**EXP64**
-Type de sol	SO22	SO26	SO11	SO15	SO35	SO19
- Texture	Limon/sable	argile/ Limon	Sableux	Sable/argile	Limon/argile	sable/limon
- Salinité du sol (dS/m)[2] -Quantités d’eau (m^3)[3]	0.7 à 1.2 6000	0.1 à 17.6 7000	0.4 à 0.7 5000	0.7 à 9	0.4 à 1.3	0.2 à 8.4

1: Exploitation type, 2: Salinité initiale de chaque exploitation type variant dans les profils et 3: Quantités d’eau d’irrigations appliquées par chaque exploitation pour irriguer le maïs fourrager

En association avec d’autres cultures, le maïs fourrager, utilisé pour l’alimentation des bovins laitiers, est pratiqué par trois exploitations types (*EXP6, EXP11, EXP20*) sur six. De ce fait, le travail de modélisation a concerné la culture du maïs fourrager et on a construit un modèle de culture de base par exploitation type afin d’établir les simulations à long terme.

2.3. Utilisation du modèle agronomique

Pour nos simulations nous avons choisi "CropSyst" qui est le fruit des recherches continues du département de génie rural de l'Université de l'Etat de Washington etqui a été employé pour l’évaluation des différents systèmes de production agricole. Il est capable de simuler plusieurs cultures, pendant plusieurs années consécutives et permet d’établir la relation entre inputs-outputs en ce qui concerne la production végétale, pour estimer les résultats de diverses techniques culturales, pour mesurer la dégradation des ressources naturelles, notamment les ressources en eau et en sol, et l’évaluation de l’impact de différentes politiques agricoles sur les résultats techniques. Il a été utilisé et validé pour les régions semi-arides, notamment la basse vallée de la Medjerda (Mlaouhi, 2002; Belhouchette, 2004 ; Abbes 2005, Mlaouhi et *al*., 2012, Mlaouhi et al., 2013).

En effet, nous avons introduit les données relatives à la localisation, au climat de la région, à la granulométrie et la salinité de départ des trois types de sols relatifs aux exploitations cultivant le maïs fourrager et aux paramètres physiologiques de la culture, ainsi que la description du système d’assolement et les quantités d’eau d’irrigation et d’engrais appliquées par les agriculteurs. Ces données sont nécessaires pour faire interagir entre eux, les modules intégrés dans "Cropsyst" (Module "localisation et climat", Module "sol", Module "salinité", Module "culture").

2.3.1. Principe de base du fonctionnement du modèle agronomique

En général, la croissance de la culture passe par plusieurs phases successives de développement constituant un cycle dépendant des facteurs génétiques, édaphiques et environnementaux. Pendant chacune de ces phases les facteurs limitant (déficit hydrique, salinité, nutrition azotée etc.) interviennent en tant que fonctions réductrices selon la loi du minimum établie par Justus Von Liebig en 1840. Cette loi est traduite par la non-substituabilité entre les inputs agricoles (eau, salinité, doses azotée etc.) quelque soit les doses appliquées (Ackello-Ogutu et *al*, 1985; Frank et *al*, 1990; Berck et Helfand, 1990; Paris, 1992; Berck et *al*, 2000). Partant de l’hypothèse de non substituabilité entre les inputs, la fonction de production de Von Liebig, représentée par exemple pour l’eau (E) et l’azote (N), β et*U* desconstantes à déterminer, prend la forme suivante:

$$Y_i = min\,[Y^*, (\beta_1 + \beta_2 E_i + u_{Ei}), (\beta_3 + \beta_4 N_i + u_{Ni})]$$

Cette fonction implique que la plante répond d’une manière linéaire uniquement au facteur le plus limitant. Après un certain niveau d’apport d’eau (E^*)*et* d’azote *(*N^*), la culture ne répond plus à des apports supplémentaires et le rendement maximal (Y^*) est atteint (Belhouchette, 2004 et Abbes, 2005). Plus tard, certains agronomes, croyant en un certain niveau de substituabilité entre les inputs à des faibles doses d’application, ont développé d’autres formes fonctionnelles telles que les:

- Von Liebig non-linéaire: $Y_i = min\,[Y^*(1 - k_E e^{-\beta_E E_i}), Y^* (1 - k_N e^{-\beta_N N_i})] + u_i$
- Mitscherlich-Baule : $Y_i = Y^* (1- k_E e^{-\beta_E E_i}) \times (1- k_N e^{-\beta_N N_i})] + u_i$

Les fonctions de type «Liebig» supposent que nous connaissons déjà la forme mathématique de la fonction (quadratique, logarithmique, exponentielle…). Dans la réalité, au-delà de deux facteurs, il est très difficile de trouver la forme la plus adéquate de la fonction de réponse. Dans ce travail nous avons besoin de fonctions ayant des formes encore plus complexes que celles mentionnées plus-haut. L’approche économétrique, issues de la convergence de l’inférence statistique et de la théorie économique standard, présente des limites pour traiter les rapports complexes qu’entretient l’agriculture avec l’environnement naturel d’une part et le milieu économique d’autre part (Boussard, 1987; Flichman, 1997). Ces limites nous ont conduits à adopter une autre approche plus originale, utilisant des fonctions de production d’ingénieur obtenues par des simulations à travers le modèle biophysique ou agronomique "Cropsyst". Pour cette raison, Il est donc utilisé pour déterminer la forme la plus adéquate de la fonction de réponse de la culture du maïs fourrager tenant compte de ses conditions environnantes.

2.4. Génération de données climatiques avec et sans changement climatique

A partir des données réelles relatives à la localisation du périmètre et au climat pour une période de 26 années de 1983 à 2008, nous avons généré à l'aide d'un sous programme "ClimGen" dans "Cropsyst", des données climatiques pour une trentaine d'années (2011 à 2040). De même, partant du fait que le changement climatique, conjugué à d’autres facteurs environnants des cultures, pourrait modifier dans le futur les conditions de culture du maïs fourrager, on a généré, des données climatiques pour la même période en adoptant deux scénarios respectifs d’augmentation de la température de 1et 2 degrés Celsius.

2.5. Simulation à long terme

Suite aux travaux d’enquêtes et de collecte des données relatives à la culture de maïs fourrager et les

conditions environnantes des exploitations, nous avons construit, dans une première étape, un modèle de culture pour chaque exploitation type. Une fois calibré ce modèle a été utilisé pour les simulations (Anderson, 1968 et Csaki, 1985) en gardant les mêmes techniques culturales adoptées par les agriculteurs et en utilisant les données climatiques générées de 2011 à 2040 avec et sans changement climatique. On a étudié le comportement de différents sols et la réponse de la culture du maïs fourrager à long terme et l’impact du changement climatique sur les rendements de cette culture et la salinité du sol. En deuxième lieu nous avons adopté quatre scénarios d’irrigation qui consistent à augmenter les doses d’irrigations initiales respectivement de 20%, 40%, 60% et 100%, pour déterminer les effets sur la salinité du sol et le rendement de la culture. Les scénarios adoptés pour cette étude sont détaillés comme suit :

SC1 = Situation initiale (quantités d’eau initialement appliquées par chaque exploitation)
SC2 = Situation initiale + augmentation de la température de 1 degré C°
SC3 = Situation initiale + augmentation de la température de 2 degré C°
SC4 = Situation initiale + augmentation de l'irrigation de 20%
SC5 = Situation initiale + augmentation de l'irrigation de 40%
SC6 = Situation initiale + augmentation de l'irrigation de 60%
SC7 = Situation initiale + augmentation de l'irrigation de 100%.

2.6. Couplage des modèles

On a établis des modèles économiques par exploitation basés sur la programmation mathématique et une écriture algébrique spécifique. Calibrés et validés, ils ont été alimentés par les coefficients techniques issus des modèles agronomiques et d’autres facteurs de productions afférents à chaque exploitation. Par la suite on a établis des simulations pour étudier les effets de la salinité conjugués au changement climatique ainsi que les effets des scénarios d’irrigation sur la marge brute de la culture du maïs fourrager.

3-RESULTATS

La figure 1 représente les résultats relatifs au comportement des sols de trois exploitations type et l’évolution des moyennes de la salinité du sol par profil en fonction du changement climatique et des scénarios d’irrigation, durant trente années (2011-2040).

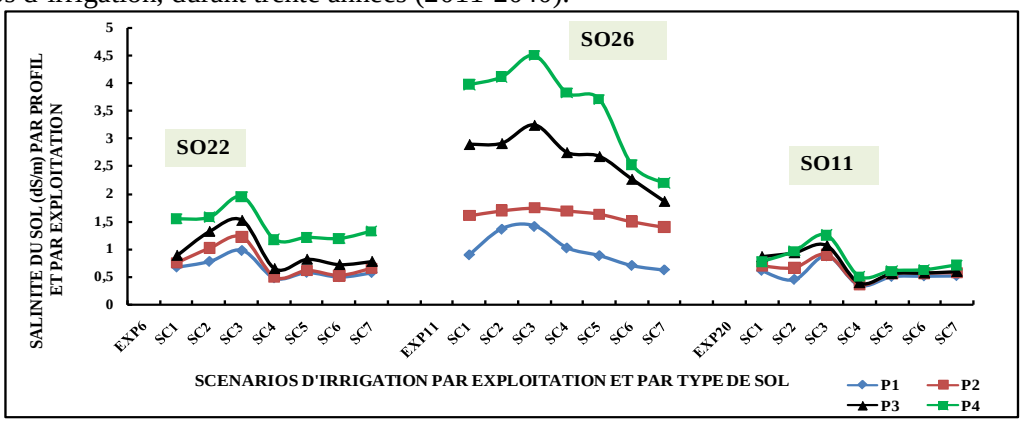


Figure 1. Moyenne de la salinité du sol par profil par scénario d’irrigation et par exploitation

Les résultats relatifs aux moyennes des rendements de la culture du maïs fourrager de trois exploitations types en fonction de la salinité et du changement climatique, ainsi que leurs évolutions en fonction des scénarios d’irrigation durant la même période sont représentés par la figure 2.

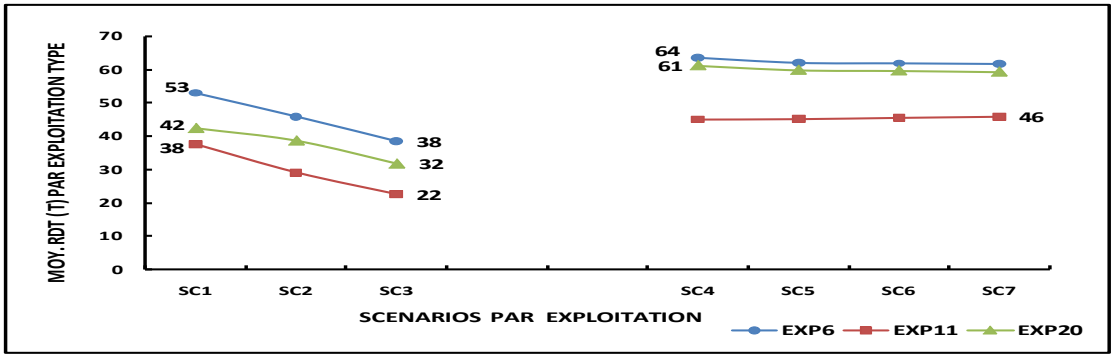


Figure 2. Moyennes des rendements du maïs fourrager par scénario d’irrigation et par exploitation

Les résultats relatifs aux moyennes de la marge brute de la culture du maïs fourrager de trois exploitations types en fonction de la salinité et du changement climatique, ainsi que leurs évolutions en fonction des scénarios d’irrigation durant la même période sont représentés par la figure 3.

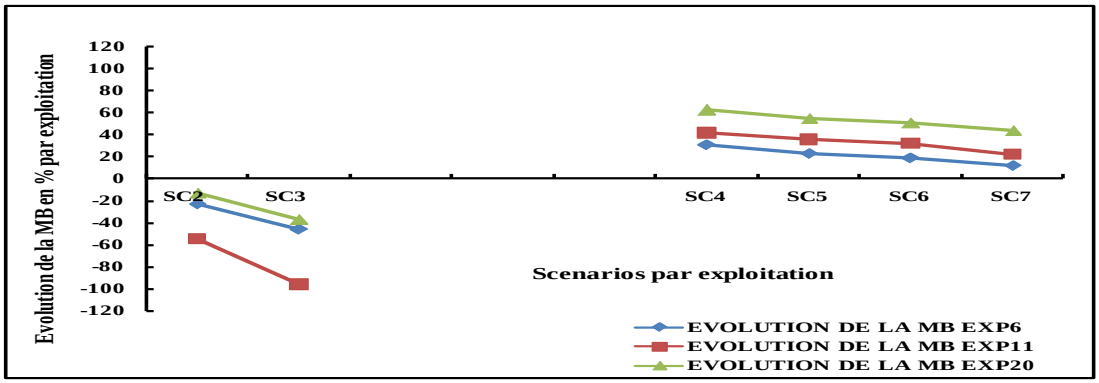


Figure 3: Evolution des moyennes de la marge brute de maïs par exploitation et par scénario

4. DISCUSSIONS

Les moyennes de la salinité des trois sols emblavés par le maïs fourrager subiront une augmentation variable selon les exploitations et les profils du sol (Figure 1). Cette augmentation est accentuée par le changement climatique et pourra atteindre 4.5 dS/m en profondeur. La salinité sera atténuée en doublant la quantité d’eau appliquée initialement par l’exploitation type EXP11 et en augmentant de 20% les quantités d’eau appliquées initialement par les exploitations types EXP6 et EXP20. Cependant, les moyennes des rendements du maïs subiront des baisses (Figure 2) qui peuvent atteindre 15 tonnes/ha et les effets sur les marges brutes seront négatifs. Pour certaines exploitations les marges brutes pourront même s’annuler. Les diminutions des moyennes de ces marges seront situées entre 13 et 96 % selon les exploitations (Figure 3).

Avec une irrigation supplémentaire le sel migre en profondeur au-delà du profil P4 sous l’effet de l’irrigation par transport convectif (Lahlou et al, 2000) par l’eau qui percole. On assiste à une réduction de la moyenne de la salinité du sol se situant entre 0.47dS/m à 2.2 dS/m selon les profils et les sols. Les moyennes des rendements seront redressées et l’augmentation de ces moyennes pourra atteindre 19 tonnes/ha. Les quantités d’eau supplémentaires feront évoluer positivement les moyennes des marges brutes entre 12 et 62%. Les variations des moyennes des rendements du maïs, de la salinité du sol et des marges brutes sont liées au comportement de chaque sol en fonction de sa structure (Badraoui et al, 1998), des conditions environnantes et des volumes d’eau initiaux appliqués (Tab. 1) par chaque exploitation.

5. CONCLUSION

Les résultats obtenus ont montré que la salinité des sols va tendre à la hausse, si on ne prend de mesure préventive. Inversement à la salinité, les rendements du maïs fourrager vont subir des baisses avec ou sans changement climatique. Les nouveaux itinéraires techniques adoptés vont réduire le niveau de la salinité du sol et amélioreront les rendements. L’exploitation EXP11, devra donc doubler

la quantité d’eau appliquée initialement. Pour les exploitations EXP6 et EXP20, les quantités d’eau appliquées initialement seront augmentées de 20%. En effet, des doses d’eau supplémentaires permettent une meilleure prise en compte de l’environnement et réduisent les impacts de la salinité sur le milieu naturel et valorisent mieux les eaux usées traitées par une amélioration des marges brutes de la culture du maïs fourrager.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Abbes K. (2005) : Analyse de la relation agriculture-environnement: Une approche bio-économique: Cas de la salinisation des sols et de la pollution par les nitrates au nord tunisien: Thèse de Doctorat en Sciences Economiques –Université de Montpellier I, 306 p.

-Ackello Ogutu C., Paris Q., and Williams W.A. (1985) : Testing a von Liebig Crop Response Function against Polynomial Specifications, American Journal of Agricultural Economics, 67(4), pp. 873-880.

-Anderson R.L. (1968) : A simulation program to establish optimum crop pattern on irrigated farms based on preseason estimates of water supply. American journal of Agricultural Economics, 50:1586-1590.

-Badraoui M. Soudi B. et Farhat A. (1998) : Valorisation de la qualité des sols: Une base pour évaluer la durabilité de la mise en valeur agricole sous irrigation par pivot au Maroc. Revue étude et gestion des sols 5,4 1998. 40-44.

-Belhouchette H. (2004) : Evaluation de la durabilité de successions culturales à l’échelle d’un périmètre irrigué en Tunisie: Utilisation conjointe d’un modèle de culture CropSyst, d’un SIG et d’un modèle bio économique, Thèse de doctorat en science du sol, ENSAM-Montpellier, 155 p.

-Berck P., Geoghegan J., and Stohs S. (2000) : A Strong Test of the von Liebig Hypothesis, American Journal of Agricultural Economics, 82 (4), pp. 948-955.

-Berck P., Helfand G. (1990) : Reconciling the von Liebieg and Differentiable Crop Production Functions, American Journal of Agricultural Economics, 72 (4), pp. 985-996.

-Boussard J.M. (1987) : Economie de l'agriculture, Economica, Paris, 320p.

-CIHEAM, 2005. Rapport sur le Développement rural, développement durable: quelle gestion des ressources?

-Collomb P. (1999) : Une voie étroite pour la sécurité alimentaire d'ici à 2050. Economica, FAO, Rome 198 pp.

-CRDA Ariana (2005) : Rapport d’étude de diagnostic et de réhabilitation du périmètre de Cebala Borj Touil: Phase1.

-Csaki C. (1985) : Simulation and systems analysis in agricultural. Developments in agricultural economics n° 2, Elsevier.

-Dorin B, Paillard S. (2009) : Agriculture et alimentation du monde en 2050 pour un développement durable. Agrimonde INRA-CIRAD 2ème Ed. 265p

-Flichman G. (1997) : Bio-economic models integrating agronomic, environmental and economic issues with agricultural use of water, CIHEAM-IAMM, Options Méditerranéennes, Sér. A/n°31, pp. 327-336.

-Frank M.D., Beattie B.R., and Embleton M.E., (1990) : A Comparison of Alternative Crop Response Models, American Journal of Agricultural Economics, 72 (4), pp. 597-603.

-Hanafi S., Zaïri A., Ruelle P., Le Grusse P., Ajmi T. (2007) : Typologie des exploitations agricoles: un point de départ pour comprendre les performances des systèmes irrigués, Actes du troisième atelier régional du projet Sirma.

-Lahlou M., Badraoui M.et Soudi B. (2000) : Modélisation de l’évolution de la salinité et de l’alcalinité dans les sols irrigués. Séminaire ‘Intensification agricole et qualité des sols et des eaux’, Rabat, 2-3.

-Mlaouhi S. (2002) : Contrôle de la salinité pour la préservation de la fertilité du sol dans un périmètre irrigué dans la basse vallée de la Medjerda, Thèse de Master à l'IAM de Montpellier, 124 p.

-Mlaouhi S., Boujelben A., Elloumi M. et HchichaM., (2010) : Simulations à long terme avec un modèle biophysique des rendements en fonction de la salinité du sol dans la basse vallée de la Medjerda, parus dans les Annales de l’INRGREF (2010), 14 (Numéro spécial), 135-144 ISSN 1737-0515.

-Mlaouhi S., Boujelben A., Elloumi M. et HchichaM. (2012) *: M*odélisation biophysique des cultures dans un périmètre irrigué par les eaux usées traitées de la basse vallée de la Medjerda, parus dans la Revue des Régions Arides n° 29 53/2012° PP: 63-75.
-Neubert S. et Benabdallah S. (2003) : Etudes et rapports d’expertise "La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie".
-Paris Q. (1992) : The von Liebig Hypothesis, American Journal of Agricultural Economics, 74 (4), pp. 1019-1028.
-Perrot C., Landais E. (1993) : Comment modéliser la diversité des exploitations agricoles? In Les Cahiers de la Recherche Développement, 33: 24-40.
-Philippeau G. (1986) : Comment interpréter les résultats d’une analyse en composantes principales ?
-Stöckle C.O., Martin S.A. and Campbell G.S. (1994) : CropSyst, a cropping systems simulation model: water/nitrogen budgets and crop yield. Agric. Syst, 46. 335-359.
-Stöckle C., Donatelli M., Nelson R. (2003) : CropSyst, a croping systems model. Europ. J. Agronomy, 18: 289-307.
-Vermersch D. (2001) : Agriculture durable et nouvelles technologies: La fin et les moyens? 1er Symposium de l'Association Belge d'Economie Rurale, Bruxelles.

Analyse de quelques critères de développement et de paramètres de rendement sous stress salin chez vingt six génotypes de blé dur (*Triticum turgidum ssp durum*) dans un écosystème oasien.

Z. Hammami[1], A. Sahli[1], BelHadj Fraj[2], M. et Y. Trifa[1]*
[1]Institut National Agronomique de Tunis, 43 Av Charles Nicole, 1082 Cite Mahragene, Tunisie.
[2]Centre international d’agriculture biosaline,P.O. Box 14660, Dubai United Arab Emirates.
* E-mail: youssef.trifa@gmail.com

RESUME
Les oasis du sud ouest sont des écosystèmes particuliers basés sur la culture du palmier dattier. Dans les oasis traditionnelles, cet écosystème est caractérisé par les cultures à étages : palmier dattier, arbres fruitiers puis culture maraîchères ou céréales. Ce travail réalisé à (Deggache) (33 "58'19N; 8" 12'59 E), a porté sur l’évaluation du comportement de 26 génotypes de blé dur (*Triticum turgidum ssp durum*) irrigués avec deux niveaux de salinité d’eau. Cette évaluation s’est basée sur des paramètres morphologiques (hauteur, matière sèche et surface foliaire), physiologiques (valeur SPAD et sélectivité ionique Na^+ et K^+) et agronomiques (nombre d’épis/$m^{2,}$ nombre de grains/m^2) poids de mille grains et rendement en grains). L’analyse de la variance du comportement variétal a dévoilé une différence significative entre les génotypes, et entre les niveaux de salinité de l’eau d’irrigation, ainsi qu’une interaction génotype x salinité. Les résultats obtenus révèlent que les variétés autochtones *Mahmoudi*, *Sbay* et *Derbazi* se distinguent par une tolérance à la salinité en maintenant un rendement et un comportement semblable aux témoins non stressés. A l’opposé, les variétés améliorées ont été classées parmi les génotypes sensibles. De plus, on a remarqué que la tolérance à la salinité des génotypes testées est inversement corrélé à la concentration des ions Na^+ dans les feuilles et qu’il y a une corrélation positive entre la tolérance à la salinité et la sélectivité K^+/Na^+. En termes de rendement absolu, le génotype Om Rabiaa a montré le meilleur rendement sous irrigation par de l’eau non chargée (222 g /m2) et le génotype Mahmoudi sous irrigation par de l’eau chargée (190,8 g /m2)
Mots-clés : blé dur, écosystème oasien, tolérance, salinité, rendement en grain.

SUMMARY
The oases are a particular ecosystem. In southwester traditional oases, three layers of crops can be found. Our work conducted in (Deggache) (33”58’ 19 N; 8”12’59 E), concerned the evaluation of the behavior of 26 genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum ssp durum*) irrigated with two levels of salinity. Morphologic parameters (plant height, dry matter and leaf area), physiologic (SPAD value and ionic selectivity; K^+ and Na^+) as well as agronomic (number of grains/m², thousand kernels weight, grain yield) were assessed. The variation analysis of the response of varieties showed a significant difference due to genotypes, water salinity. We have showed that local genotypes *Mahmoudi*, *Sbay* and *Derbazi* can be considered as tolerant to salinity as they can maintain a similar yield of the unstressed control while all the improved cultivars are sensitive.
Key words: durum wheat, oasis ecosystem, tolerance, salinity, grain yield.

1. INTRODUCTION

La salinité constitue pour les zones arides et semi arides un handicap pour le développement agronomique et socio- économique. Les écosystèmes, dans ces régions, sont caractérisés par une faible et forte irrégularité des précipitations (Mnif et Chaieb, 2004) associées à une importante évaporation favorisant l’accumulation des sels dans le sol (Hayek et Abdelly, 2004). Ce phénomène affecte près de 7 % de la surface globale dans le monde Munns (2002). En Tunisie environ 3,2 millions d’hectares de la surface sont considérés comme salins (Hamdy, 1999). Aussi, les ressources en eaux destinées à l’irrigation en Tunisie sont limitées et de qualité médiocre. Ainsi, l’eau d’irrigation, provenant des barrages par exemple titre fréquemment une charge moyenne en sel de 2 à 3 g/l, alors que l’eau en provenance des puits titre de 4 à 7 g/litre de sels et peut atteindre 10 g /litre au sud et même plus.
Les oasis traditionnelles du sud ouest sont caractérisées par les cultures à étages : palmier dattier, arbres fruitiers et cultures annuelles dont les céréales. Les oasis tunisiennes sont des écosystèmes complexes

caractérisés, entre autres, par un déficit global en eau d’irrigation et par une salinisation croissante (Lasram, 1990).
L’identification de variétés de blé adaptées à l’irrigation par de l’eau chargée pourrait contribuer à l’enrichissement de la biodiversité de l’écosystème oasien, à la valorisation des eaux non conventionnelles chargées et à l’amélioration du revenu des petits agriculteurs des oasis traditionnelles.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériel végétal

Ce travail porte sur l’étude de la tolérance à la salinité de 26 variétés et génotypes locaux de blé dur *(Triticum durum* Desf.). Il s’agit des 19 génotypes autochtones à savoir : *Ouard bled, Derbessii, Richi, Biskri, Mahmoudi, Agili, Souabâ Algia, , Agili Glabre, Bidi, Azizi, Hamira , Chili, sourri Arbi, jeneh Hhotifa, Aoudhay sbay, Baydha* et *INRAT 69*, les 6 variétés améliorées tunisiennes de grande culture qui sont : *Razzak, Khiar, Maâli, Om Rabiaa, Nasr et Karim* et une variété italienne récemment introduite et inscrite au catalogue : *Iride.*

2.2. Site d’essais

Les essais ont été conduis en plein champ dans la région du Djerid (Deggache) (33 "58'19N; 8" 12'59 E) caractérisé par de fortes amplitudes thermiques journalière et saisonnière, une pluviométrie irrégulière et très faible (inférieure à 90 mm/an).

2. 3. Méthodologie

***- Dispositif expérimen*t al**

Les essais sont en bloc complets randomisé, chaque essai comprend trois blocs et 90 unités expérimentales. Chaque unité est constituée à son tour de 10 lignes de 1 m de long, espacés de 0,2 m soit une superficie de 2 m². La répartition des différents génotypes dans les blocs a été élaborée par le logiciel GenStatT Release 12.1.

- Conduite et suive de l’essai

La préparation du sol a été réalisée afin de préparer le lit de semences et la formation des ados de chaque unité expérimentale étant donné que l’irrigation est effectuée par submersion, technique d’irrigation la plus répandue dans les oasis traditionnelles. Le semis a été réalisé manuellement avec une densité de semis de 250 grains/m².
La fertilisation azotée est effectuée à base d’ammonitrate (33,5% N) en 3 fractions. Aucun traitement fongique ou insecticide n’a été réalisé puisque l’état de cultures ne le nécessite pas. Les essais ont été régulièrement désherbés de façon manuelle (binage).

- Pilotage de l’irrigation

Dans l’objectif de la valorisation d’un important potentiel d’eau de drainage nous avons construit un mini barrage sur un réseau de drainage existant afin d’accumuler cette eau. L’eau non chargée provient d’un puits profond. La fréquence moyenne d’irrigation est d’une fois chaque 4 jour. La quantité d’eau apportée à la culture est de l’ordre de 665 mm.

2.4. Les paramètres mesurés

Au cours du cycle de développement du blé dur nous avons évalué un certain nombre de paramètres morphologiques, agronomiques et physiologiques liés à la tolérance à la salinité.

- Paramètres morphologiques

Trois plantes ont été prises au hasard au stade 2 nœud Z32 afin de mesurer les paramètres suivants
La croissance en hauteur à l'aide d'une règle graduée.
La matière sèche après séchage à l’étuve à 80°C pendant 48 heures.
La surface de la feuille N°3 à l’aide du logiciel spécifique à la mesure des surfaces, Mesurim-pro (version02-08).

- Paramètres physiologiques

Valeur SPAD : Ce paramètre à été mesurée à l’aide d’un chlorophyllomètre SPAD (Soil plant analysis development) qui estime la teneur de la chlorophylle totale (Hébrard, 1999).
Extraction et dosage du potassium K^+ et du sodium Na^+ : Au stade trois feuilles (Z13), les feuilles N° 3 des trois plantes de chaque unité expérimentale (pour 9 génotypes) sont séchées et finement broyées,

par la suite 0.5g de poudre végétale de chaque échantillon sont prélevés, mis dans des creusets en silice, puis on a suive les deux étapes, calcination et dosage au photomètre à flamme. Enfin,le calcul des pourcentages de présence de sodium dans les échantillons se fait en appliquant la formule suivante :

$$\%\,Na = ((L_E * \frac{C_e}{L_e} * V)/(PS\ 1000)) * 100$$

LE : Lecture de l’échantillon
Le : Lecture de l’étalon
V : Volume de l’échantillon
PS : Poids de l’échantillon en mg

- Paramètres agronomiques.
A maturité complète, et à partir de chaque parcelle élémentaire, les plantes de 0.25m^2 sont fauchées.
Le poids est déterminé et constitue le rendement biologique.
Le nombre d’épis est déterminé puis rapporté par m^2. Les épis sont battus, le nombre de grains et leurs poids déterminé pour calculer le nombre de grains/m2, le poids de mille grains et le rendement en grains.

2.5. Analyse statistique

L’ensemble des données obtenues ont fait l’objet d’une analyse de la variance à un et à deux facteurs fixes de classification (niveau de salinité et génotypes). L’ensemble des analyses statistiques a été effectué avec le logiciel SPSS Statistics (Version 17.0). Nous avons procédé également à une Analyse en Composantes Principales (ACP) dont l’objectif est de réduire les caractères, les représenter géométriquement et établir des corrélations entre eux. Les graphes présentés et les ACP sont réalisés par les logiciels Excel-2007 et Excelstat-2003.

3. RESULTATS

3.1. Rang de variation des variables

L’adaptation est la capacité de la plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans les zones sujettes à des stress (Turner, 1979). Dans ce cadre, nous avons mené des essais à Deggache afin d'évaluer en plein champ, les adaptations agromorphologiques et physiologiques des 26 génotypes de blé dur au stress salin. Les valeurs minimums, maximums et moyennes des variables mesurées sur les différents génotypes, sous les irrigations avec de l’eau chargée ou non chargée sont données au tableau 1. Pour identifier les caractères qui accompagnent l’expression du rendement en grains, une comparaison inter essais est faite. Nous avons constaté que, pour les deux essais confondus, le rendement en grain a varié de 55,3 à 225 g/m^2, (soit 5,5-22,5 qx/ha) (Tableau1). Ces rendements au sud se rapprochent de ceux obtenus dans les conditions de culture les plus favorables au nord du pays (Aissa et Mhiri, 2002). La moyenne de rendement de 129 g/m^2 (équivalent à 12.9 qx/ha)correspond à un nombre de grains de 783 par m². Ces résultats sont dans la norme de la production de blé dur en Tunisie (Lattiri, 1992). La réduction du rendement moyen a été de 31% à l’essai irrigué par l’eau chargée, par rapport à celui irrigué par l’eau douce.

Tableau 1. Statistiques descriptives des variables: (PS), (PMG), (NG) et (RG) des différentes variétés de blé dur cultivées aux niveaux des deux essais

	PS (g/plante)	PMG (g/m²)	NG /m²	RG (g/m²)
Minimum	0,34	35	357	55.3
Maximum	2,2	53.6	1330	225
Moyenne	0,86	48	783	129.35

(PS) : biomasse stade 2 nœuds (Z32) (PMG) : le poids de mille grains, (NG) : nombre de grains par m^2, (RG) : le rendement en grains.

3.2. Effet de la salinité et du génotype sur les paramètres étudiés

3.2.1. Paramètres morphologique

La réponse à la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par un effet sur paramètres morphologiques (Munns *et al.,* 1995). Le traitement salé exerce une baisse significative sur les caractères relatifs à la croissance végétative tels que la biomasse végétative et la hauteur des plantes. Par contre, la salinité n’affecte pas du même degré les différents génotypes. D’où l’effet significative de génotypes ainsi que l’interaction traitement salin génotypes (Tableau 2).

Les variétés améliorées ont montré une plus grande sensibilité au sel avec un moyen de réduction de 42.36%. En revanche, les génotypes locaux ont montré qu’ils sont les plus tolérants avec seulement 23% de réduction. Donc les variétés autochtones *telles* que *Derbessi*et *Mahmoudi et Sbay* présentent un intérêt certain pour les programmes d'amélioration variétale pour la tolérance au sel. En fait, ils pourraient valoriser les zones salines et/ou les zones qui n’ont que des ressources en eau saumâtre.

Tableau 2. Analyse de la variance (carrés moyens et test F) relative aux paramètres morphologiques : H (hauteur au stade), MS (matière sèche) et la surface foliaire (SF). Ainsi que le paramètre physiologique : valeur SPAD évalué chez les différents génotypes de blé dur sous l’effet de deux niveaux salinité d’eau d’irrigation.

Source de variation	ddl	H	MS	SF	SPAD
Trt	1	98745,3**	4,78**	1459125**	841,93**
Bloc	2	1026,7*	0,43**	1390458*	35.69*
génotype	25	2569,3**	0,53**	1015141,7**	27,27*
Trt *génotype	25	205,08 ^{ns}	0,33**	989414,6**	27,80*
Erreur	311	172,88	0,03	111004,7	14,41
R Squared		0,7	0,84	0,93	0,59
CV		13,7	24.25	18.86	9,18

**: effet significatif au seuil de 1% ; *: effet significatif au seuil de 5% ; ^{ns} : effet non significatif

3.2.2. Paramètres physiologique

3.2.2.1. Valeur SPAD

Une légère variation, mais significative, de la valeur SPAD a été enregistrée entre les différents génotypes du blé dur. Cependant, la salinité induit une réduction moyenne de la valeur SPAD de l’ordre de 10%. Ceci confirme bien les résultats de Mansour, (1996) qui indiquent que l’accumulation de sel entraine chez les céréales des troubles métaboliques avec une réduction de la photosynthèse (Simon-Sarkadi*et al.,* 2002).

3.2.2.2. Teneurs en sodium (Na^+)

Le degré de tolérance à la salinité des génotypes testées est inversement corrélé à la concentration des ions Na^+ dans les feuilles, ce qui est confirmé par le coefficient de corrélation qui est égale à 0,72 et une équation de pente négative (y = -0,4816x + 1,1242) (Figure 1). Donc, l’accumulation de Na^+ au niveau de la feuille, associée à une mauvaise compartimentation vacuolaire, entraine une diminution de la croissance végétative ainsi de rendement final en grains (Munns et James, 2003).

Nos résultats sont en parfait concordance avec les travaux menés par Munns et James (2003). En fait, une des stratégies de tolérance au niveau de blé dur consiste à limiter le transport de Na^+ vers les parties aériennes et précisément aux niveaux des feuilles et donc, avoir la capacité de la recirculation de sodium des feuilles vers les racines via le phloème. (Yeo et Flowers, 1983 ; Läuchli, 1984; Flowers et Yeo, 1986 ; Munns et James, 2003 ; Poustini et Siosemardeh, 2004). Cette redistribution contrôlée se fait essentiellement dans les vacuoles (Brini*et al*., 2007 ; He *et al*., 2005 et Munns et Tester, 2008).

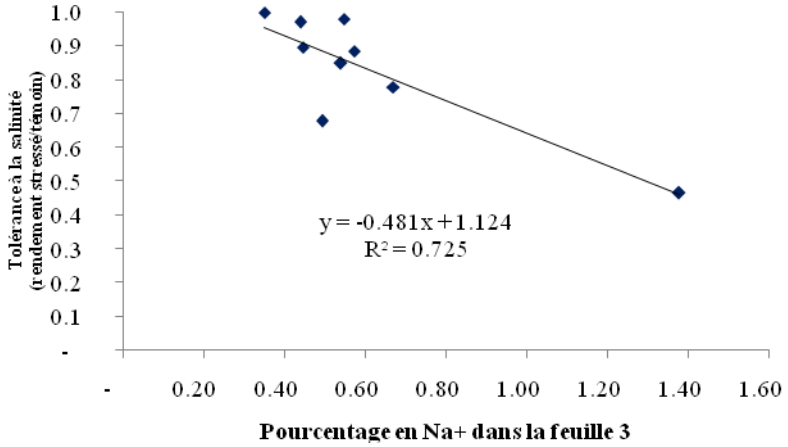


Figure 1. Relation entre la tolérance à la salinité et la concentration en Na^+ de la feuille du troisième rang

3.2.2.3. La sélectivité ionique K^+/Na^+

En outre, on constate, selon le coefficient de corrélation (R^2=0,51) et l'équation (y = 0,2255x + 0,4695), qu'il ya une corrélation positive entre la tolérance à la salinité et la sélectivité K^+/Na^+ (Figure 2). Ainsi, les ions Na^+ sont en concurrence avec les ions K^+, ce qui est défavorable pour les processus biochimiques cellulaires. De même, une forte concentration de potassium augmente le potentiel osmotique qui entraîne une entrée d'eau à partir du milieu extérieur (Claussen*et al.*, 1997). Le prélèvement de K^+ est essentiel pour la turgescence cellulaire et le déroulement des processus biochimiques sous stress salin.

Alors, le maintien d'un rapport cytoplasmique K^+/Na^+ adéquat est une exigence clé pour la croissance de la plante dans un milieu à salinité élevée (Chinnusamy*et al.*, 2005). Ainsi, ce paramètre est très important dans le criblage de génotypes et possèdent un potentiel génétique intéressent pour la tolérance a la salinité.

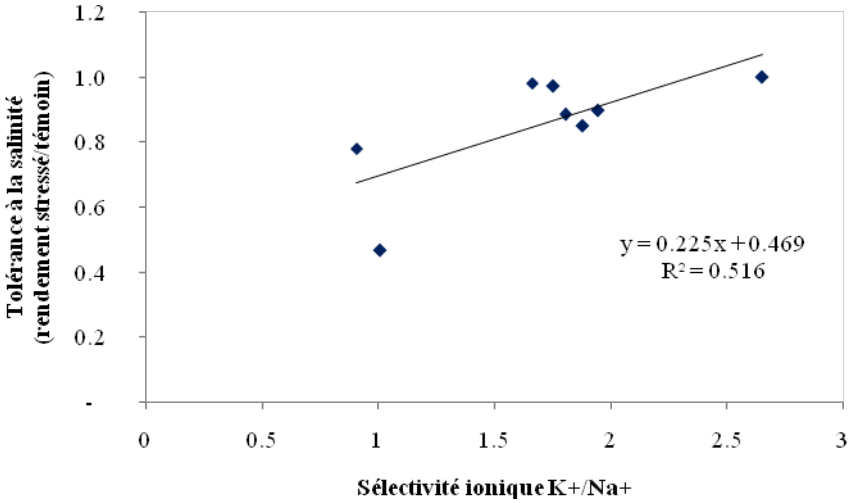


Figure 2: Relation entre la tolérance à la salinité et la sélectivité ionique K^+/Na^+

3.2.3. Paramètres de rendement

L'analyse des composantes du rendement des céréales est un outil pour porter un diagnostic sur les systèmes de cultures en vue de leur amélioration (Meynard et Sebillote, 1994). Une analyse de variance a permis de mettre en évidence un effet significatif des génotypes testés et de deux niveaux salinité d'eau d'irrigation, ainsi qu'un effet significatif de l'interaction cultivars × traitements (Tableau 3).

D'où, la salinité a causé une réduction du rendement en grains chez tous les génotypes testés, soit une moyenne de 31%. Cependant, les variétés autochtones sont celles qui présentent les plus faibles

réductions du nombre d'épis/m^2 de l'ordre de 28,9%. Alors que pour les variétés améliorées, la réduction est de l'ordre de 40,9%. Bouzerzour*et al.* (2000) ainsi que Fellah *et al.*,(2002) montrent que les génotypes performants, en conditions favorables, perdent cette capacité sous conditions de contraintes abiotiques. Les variétés autochtones Derbessi, Mahmoudi et Sbay n'ont pas subit une réduction de leur rendement.

Tableau 3. Analyse de la variance (carrés moyens et test F) relative aux paramètres de rendement : le poids de mille grains (PMG), nombre d'épis par m^2 (NE) et le rendement en grains (RG) évalué chez les différents génotypes de blé dur sous l'effet de deux niveaux salinité d'eau d'irrigation.

Source de variation	ddl	NE	PMG	RG
Génotype	25	38816,86**	635,89**	1253,72**
Traitement	1	3939,893**	26,59*	28,72**
Génotype × traitement	25	4447,91**	23,12^{ns}	36,99**
Erreur	120	2001,87	16,43	14,34
C.V (%)		20.23	8,33	30
R^2		0,54	0,51	0,68

ns : test F non significatif ; * : test F significatif au seuil de 5% ; ** : test F significatif au seuil de 1%

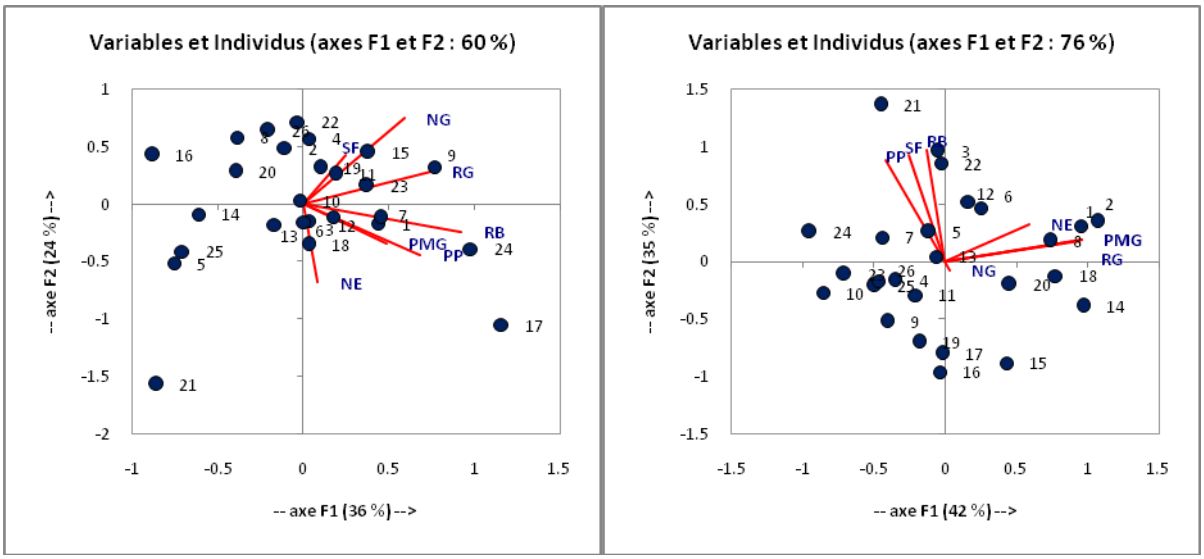
3.3. Analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales(ACP) a montré que les deux premiers axes présentent 60% de la variation. L'axe F1 concernent les paramètres : nombre des épis par unité de surface (NE) et la surface foliaire (SF), tandis que l'axe F2 sépare ces paramètres : le poids de mille grains (PMG), le rendement en grain (RG), le rendement en paille (RP) et le rendement biologique (RB) (Figure 3).

Pour l'essai irrigué par l'eau douce, les paramètres étudiés sont plus corrélés entre eux. Les plans factoriels formés par ces axes ont permis de départager les génotypes en deux principaux groupes. Le premier groupe est composé par les génotypes *Ouard Bled (1), Agili Glabre (9), Azizi (11), SwebâAljia (7), jenehKhotifa (23), Aoudhay (24)* et les variétés améliorées*Khiar (15), Maâli (16), Om Rabiaa (17), Nasr (18) et Karim* (19) qui présentent des rendements en grains et biologique intéressants. Le deuxième groupe est formé par le reste des variétés qui se caractérisent par des rendements en grains et biologique les moins importants.

Pour l'essai irrigué avec l'eau chargée, le plan factoriel composé par les axes F1 et F2 explique 76% de la variation au sein des génotypes pour les variables étudiées. On a constaté aussi que les paramètres de rendement en grains et celui de rendement biologique s'écartaient l'une à l'autre et que le PMG explique mieux le rendement en grain.

On remarque un changement de comportement des génotypes étudiés suite à l'irrigation avec l'eau chargée. En effet, la salinité a provoqué la diminution de rendement de plusieurs génotypes. Si on voir le changement de la répartition des génotypes en entre les deux essais. Parmi le groupe des génotypes qui ont été intéressants en terme des rendements en grains et biologique au niveau de l'essai irrigué par l'eau douce. Seul le génotype local *Ouard Bled (1)* et la variété améliorée *Nasr (18)* qui gardent cette aptitude. Par ailleurs, plusieurs autres génotypes comme *Ouard Bled (1), Derbessi (2)* et*Mahmoudi* (5) n'ont pas subis une grande réduction de leur rendement par rapport à l'essai irrigué par de l'eau chargé aux autres génotypes. Ces génotypes seraient porteurs de caractères de tolérance à la salinité. Ainsi, pour l'essai irrigué par l'eau chargé les plans factoriels formés par les axes retenus ont permis de départager les génotypes en trois principaux groupes. Le premier est composé des génotypes *Ouard Bled (1)* et*Derbessi (2)* et les variétés améliorées *Razzak (14), Nasr (18), INRAT 69 (8)* et le génotype Italien *Iride (20)* qui se caractérisent par un rendement en grain importants. Le deuxième groupe est formé par les variétés autochtones *Hamira (12), Richi (3), Arbi (22) Mahmoudi (5) et Agili (6) et sourri(21)* qu'ont un rendement biologique importants. Le troisième groupe est formé par le reste des variétés qui présentent des rendements en grains et biologique moins intéressants sous stress salin.



(a) **(b)**

Figure 3. Analyse en composantes principales, (a) : essai irrigué avec eau douce 2g/l, (b) : essai irrigué avec eau chargée 6g/l.

4. CONCLUSION

L’irrigation du blé dur offre l’amortissement des fluctuations interannuelles du rendement en Tunisie, elle ne présente pas une solution absolue, étant donné que la majorité des ressources en eaux sont saumâtre, ainsi que la faible adaptabilité génétique de variétés cultivées à salinité. L’identification de variétés tolérantes, de leurs seuils respectifs de tolérance est primordiale pour l’extension de la céréaliculture dans les zones affectées par la salinité des eaux et des sols.

Ce travail réalisé dans un écosystème oasien a mis en évidence, d’une part, l’effet inhibiteur des eaux d’irrigation chargées qui se manifeste chez différemment chez les vingt six génotypes de blé dur testée conformément à plusieurs études (Bouzerzour *et al.*, 2000 ; Fellah et al ., 2000 ; Munns et James, 2003).. Le rendement des variétés autochtones *Derbessi, Mahmoudi et Sbay* n’est pas affecté par le stress salin, constituant ainsi des génotypes tolérants dont l’utilisation en tant que parents dans un programme spécifique d’amélioration pourrait être envisagé.

Munns et James, (2003) ont montré que dans des conditions contrôlées, le taux de sodium foliaire pouvait constituer un bon indicateur pour la tolérance des génotypes de blé dur au stade juvénile. Cette tolérance étant exprimée en termes de rapport de la production de la biomasse sous stress par celle sous régime non stressant. Nous montrons que le taux de sodium de la troisième feuille dans des essais en plein champ peut également être considéré comme un paramètre fiable pour mesurer la tolérance d’un génotype en terme de rendements en grains.

Les oasis sont des écosystèmes fragiles et leur gestion durable implique plusieurs actions dont celles visant l’amélioration du revenu des agriculteurs, le maintien et l’enrichissement de la biodiversité ou encore la sauvegarde des pratiques ancestrales. Ainsi, l’identification de génotypes spécifiquement adaptés à cet écosystème et à l’utilisation des eaux marginales telles que celles de drainage peut participer à cet effort.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-AÏSSA, A.D., et MHIRI, A., (2002). La fertilisation phospho-potassique des céréales conduites en intensif en Tunisie, Cahiers Agriculture, Vol. 11, n° 6.

-Amino acid and polyamine content in cereals. Proceedings of the 7th Hungarian congress on plant physiology, 46 (3-4): 73-75.

-Bouzerzour H., A. Benmahammed, A. Benbelkacem, T. Hazmoune, H. Mimoun, S. Bourmel, A. Mekhlouf .(2000). Stabilité des performances et caractéristiques phéno-morphologiques de quelques variétés de blé dur (TriticumdurumDesf.) issues d’une sélection multilocale. Proc. du Premier Symposium International sur la Filière Blé - Enjeux et Stratégie-, Alger, 7-9 Février, 2000. Pages 178-184.

-Brini F, Hanin M, Mezghani I, Berkowitz GA, Masmoudi K. (2007).Overexpression of wheat Na+/H+antiporter TNHX1 and H^+ pyrophosphatase TVP1 improve salt and drought-stress tolerance in Arabidopsis thaliana plants. J. Exp. Bot. 58: 301-308.
-ChinnusamyV., Schumaker K. and Zhu J. K . (2004). Molecular genetics perspectives on cross-talk and specificity in abiotic stress signalling in plants. J of Experimental Botany. 55: 225-236.
-Claussen M., Lüthen H., Blatt M. &Bottger M. (1997). Auxininduced growth and its linkage to potassium channels. Planta 201, 227–234.
-Fellah A.,A. Benmahammed, A. Djekoun, H. Bouzerzour (2002). Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*TriticumdurumDesf.*). Actes de l’IAV, Hassan II, (Maroc) 22, 161-170.
-Hamdy A. (1999). Saline irrigation and management for a sustainable use. In: Advanced Short
-Hayek T., Abdelly C. (2004). Effets de la salinité sur l’état hydrique foliaire, la conductance stomatique, la transpiration et le rendement en grains chez 3 populations de mil (*Pennisetumglaucum*(L.) R. Br.). Revue des Régions Arides, Tome 1, No. Spécial: 273-284.
-Hu Y., Fricke Y.W. and Schmidhalter U. (2005). Salinity and the growth of non-halophytic grass leaves: the role of mineral nutrient distribution. Funct. Plant Biol. 32:973–985.
-Lasram M.1990. Les systèmes agricoles oasiens dans l e Sud de la Tunisie**.** In : D ollé V. (ed.), Toutain G. (ed.). *Les systèmes agricoles oasiens.* Montpellier : CIHEAM, 1990. p. 2 1 -2 7 (Options Méditerranéen n es : Série A. Sémin aires Méditerranéen s; n . 1 1)
-Latiri S.K., Aubry C., Dore T. et Sebilotte M., (1992). Elaboration du rendement du blé dur en conditions semi arides en Tunisie : relations entre composantes du rendement sous différents régimes de nutrition azotée et hydrique. Agronomie, 112. Pp : 31-43.
-Mansour, M. (1996)**.** Etude comparative de l’effet de chlorure de sodium sur trois variétés de blé tendre. Mémoire fin d’étude : 37p
-Mnif L., Chaieb M. (2004). Efficacité comparée de l’utilisation de l’eau de pluie en milieu aride par quatre populations d’une Poaeae pérenne. Revue des Régions Arides, Tome 1, No spécial : 252-257.
-Munns R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment, Vol. 25; pp: 239–250
-Munns R. et Tester M., (2008). Mechanisms of salinity Tolerance. Annual Review of Plant Biology, Vol.59; pp: 651–681.
-Munns R., et James R.A., (2003). Screening methods for salinity tolerance, a case study with tetraploid wheat. Plant and Soil 253. Pp: 201-218.
-Poustini, K. and A. Siosemardeh (2004) . Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress, Field Crops Research. 85(2-3):125-133.
-Simon-Sarkadi, l., G. Kocsy, and Z. Sebestyén. (2002). Effect of salt stress on free
-YEO A. R. and FLOWERS T. J., 1983. Varietal differences in the toxicity of sodium ions in rice leaves. Physiol. Plant, 59 : 189-195.
-Zhu J. K. (2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. Current Opinion in Plant biology, vol. 6, pp: 441-445.

Effet de *Glomus deserticola et Gigaspora margarita* sur l'olivier (*Olea europaea* L.) irriguées avec des eaux usées traitées : aspects agronomiques et physiologiques

Khabou Wahid[1], Ben Hassena Ameni[2], Hanin Moez[2], Ksibi Mohamed[2], Drira Noureddine[3]
[1]Institut de l'Olivier, Sfax, Tunisie
[2]Institut Supérieur de Biotechnologie de Sfax, Sfax, Tunisie
[3]Faculté des Sciences de Sfax, Sfax, Tunisie
Email : Khabou_wahid@yahoo.fr

RESUME
Cette étude a pour but de tester l'effet de deux champignons endomycorhiziens, *Glomus deserticola* et *Gigaspora margarita*, sur des plantes d'olivier âgées de trois ans, de la variété Chétoui, irriguées avec des eaux usées traitées (EUT). Dans ce cadre, des traitements hydriques différents ont été appliqués. En plus des irrigations par des eaux de robinet pour les plantes témoins, des irrigations avec des EUT non diluées ainsi qu'avec des EUT diluées à 1/2 et à 1/3 ont été appliquées aux plantes inoculées par les deux souches et aux plantes non mycorhizées. L'étude de la réponse des plantes d'olivier vis-à-vis de la symbiose mycorhizienne d'une part et l'irrigation par des EUT d'autre part a porté sur plusieurs paramètres agronomiques, physiologiques, éco-physiologiques et biochimiques. L'irrigation par les EUT et la mycorhization ont engendré des améliorations de la croissance végétative ainsi qu'un enrichissement des tissus végétaux par les macroéléments et les éléments traces essentiels. Des accumulations de Cadmium (Cd) ont été observées dans les différents organes des plantes irriguées avec les EUT non diluées. Toutefois, la symbiose mycorhizienne a contribué à la réduction de la translocation de ces métaux vers la partie aérienne.
Mots clé :*Olea europaea* L., eaux usées traitées, endomycorhizes, métaux lourds, croissance végétative, absorption minérale.

SUMMARY
The objective of this study is to evaluate the effect of two endomycorrhizal fungi, *Glomus deserticola* and *Gigaspora margarita*, on olive plant, from the Chetoui variety, irrigated with treated wastewater. During this study, four levels of water used for irrigation included well water, treated wastewater and also treated wastewater diluted to 1/2 and to 1/3. These treatments are applied for both mycorrizal and control plants. The effect of treated wastewater irrigation and the mycorrhizal symbiosis was evaluated on the basis of agronomic, physiological, eco-physiological and biochemical attributes. From the results, it was clear that the treated wastewater irrigation and the mycorrhizal fungi enhance the growth and the enrichment of tissues of olive plants by the macro-elements and the essentials metal. However, treated wastewater increases the heavy metal accumulation on tissues of plants (Cd). The presence of mycorrhizal fungi decreased the ascension of this heavy metal to the leaves of olive plants.
Key words:*Olea europaea* L., treated wastewater, endomycorrhiza, heavy metals, growth, mineral uptake.

1. INTRODUCTION

La valorisation agricole des eaux usées traitées (EUT) constitue un moyen non négligeable pour combler en partie le manque d'eau. Bien que cette source d'eau soit bénéfique dans le domaine agricole grâce à sa richesse en éléments nutritifs, les EUT peuvent également avoir des impacts défavorables pour la santé publique et l'environnement.

Dans les eaux usées, les métaux lourds sont extrêmement nombreux. Les plus abondants sont le Fer, le Zn, le Cu et le Pb. Les autres métaux comme l'aluminium, le chrome, l'arsenic, le sélénium, le mercure, le cadmium, le molybdène, le nickel, etc… sont présents à l'état de traces. Tous ces métaux peuvent, s'ils dépassent un seuil, constituer un risque sanitaire significatif pour les humains et les animaux ainsi que les cultures irriguées par les eaux usées (FA0, 2003).

Riches en éléments fertilisants, les EUT peuvent entraîner une augmentation du taux de la matière organique et des éléments nutritifs du sol et par conséquent une amélioration des rendements des plantes cultivées (Yadav *et al*. 2002). Dans ce cadre, Charfi *et al*. (2003) ont constaté, lors d'une étude

sur l’impact des EUT sur le sol et l'olivier, une augmentation des teneurs en éléments fertilisants (surtout N et P) dans les différentes couches du sol, ce qui confère à ces eaux une valeur fertilisante. De plus, ils ont remarqué un développement remarquable des branches de l'olivier, ce qui induit une amélioration de la production en huile d'olive. Plusieurs études ont montré que l’irrigation avec les EUT améliore la croissance et la productivité des plantes. Toutefois, cette amélioration est souvent associée à plusieurs problèmes environnementaux dû à une utilisation excessive et continue de ces effluents (Bedbabis *et al*. 2010).Yadav *et al*. (2002) ont remarqué que les teneurs en métaux lourds au niveau des plantes irriguées par des eaux usées depuis 30 ans sont au dessous du seuil de toxicité pour les plantes. Pandey et Prakash Sharma (2002) ont remarqué un retard de croissance et une diminution des biomasses totales des plantes de chou âgés de 42 jours lorsqu’elles sont exposées à un excès de Co^{2+}, Ni^{2+} et de Cd^{2+}. Généralement, les champignons MA stimulent la croissance des plantes en favorisant une meilleure absorption de l'eau et des éléments minéraux (Kapoor *et al*. 2008 ; Khabou, 2012). Des études ont montré que les mycorhizes entraînent une ramification accrue du système racinaire, en augmentant les racines fines favorisant ainsi une bonne exploration du sol (Citernesi *et al*. 1998 ; Kapoor *et al*. 2008 ; Khabou, 2012. Outre le phosphore, la symbiose mycorhizienne peut faciliter l'absorption de divers autres éléments minéraux tels le fer (Khabou, 2012). L'absorption de ces éléments souvent difficilement assimilables par la plante est améliorée par l'association mycorhizieme (Kapoor *et al*.2008).Parmi les endomycorhizes qui ont été utilisés *Glomus deserticola*. Cette souche a permis l’amélioration de la tolérance de *Prosopis* au Cr et Pb et favorise l'accumulation du Zn dans les racines d’*Eucalyptus globulus* lorsqu’elle est inoculée en association avec des champignons saprophytiques (Arias *et al.* 2010; Arriagada *et al.* 2010). Ismail (2009), a constaté que cette souche joue un rôle très important dans l’amélioration de la croissance et de l’absorption des éléments minéraux chez des plantules d’olivier irriguées avec des EUT. En ce qui concerne *Gigaspora margarita*, Ismail (2009) a remarqué que les plantules d’olivier irriguées avec des EUT et inoculées par cette souche présentent des taux élevés en éléments minéraux et une croissance végétative plus importante. Egalement, Trotta *et al.* (2006) ont signalé que lors d'un stress abiotique (présence d'arsenic), *Gigaspora margarita* augmente la surface foliaire et la concentration de phosphore dans les racines d’une fougère (*Pteris vittata* L.).

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériel végétal, conditions d’élevage et dispositif expérimental

Le présent travail a été mené à l'Institut de l'Olivier à Sfax sous une ombrière où les conditions d'élevage sont semi contrôlées. Le matériel végétal utilisé est constitué de jeunes plantes d'olivier âgées de 3 ans et issues de boutures semi ligneuses de la variété à huile "Chetoui". Les plantes d’olivier ont été cultivées dans un substrat inerte et stérilisé constitué de sable grossier tamisé. Le matériel fongique utilisé se compose de deux souches de champignons endomycorhiziens à arbuscules qui sont *Glomus deserticola* (M_1) et *Gigaspora margarita* (M_2). Concernant les plantes témoins non mycorhizées (NM), ces derniers on été remplis directement par du sable grossier sans l’ajout de l’inoculum.Les eaux usées traitées utilisées ont été apportées du périmètre expérimental El Hajeb (OTD Chaal). Les traitements hydriques suivants ont été appliqués: e : eau ordinaire; E1/2 : Eau usées traitées diluée deux fois ; E 1/3 : eau usées traitées diluées 3 fois et E : eau usées traitées non diluées. L’essai est formé de trois lots composés chacun de 12 plantes d’olivier. Un premier lot pour les plantes inoculées par la souche *Glomus deserticola* (M_1), un deuxième lot pour les plantes inoculées par la souche *Gigaspora margarita* ($M_{2)}$ et un autre pour les plantes témoins non mycorhizées (NM). Pour chaque lot, les quatre traitements hydriques ont été appliqués de façon à avoir trois plantes pour chaque type de traitement hydrique et par lot de plantes. Le dispositif expérimental est un essai factoriel comportant 12 traitements et 3 répétitions par traitement. Les analyses statistiques de tous les paramètres étudiés ont été faites par le logiciel SPSS 20 (Statistical Package for the Social Sciences) suivant le modèle linéaire général univarié en utilisant le test Duncan pour la comparaison des moyennes.

2.2. Croissance végétative des plantes

Des mesures ont été réalisées tous les 15 jours dès le début de l'application des traitements hydriques. Ces mesures ont concerné la longueur cumulée des pousses (cm) que les plantes ont développé. A partir des mesures de la longueur cumulée des pousses, l’allongement des pousses a été déduit. Pour

chaque traitement des trois lots, les plantes ont été arrachées à la fin de la période d'expérimentation. Les poids frais des trois organes végétatifs des plantes, notamment les feuilles, les tiges et les racines, ont été déterminés. Ensuite, après séchage des échantillons à l'étuve à 74°C pendant 48 heures, les poids secs de ces échantillons ont été mesuré. Ainsi, le rendement en matières sèches (%) a été déterminé selon la formule suivante pour tous les échantillons prélevés :

$$MS\ (\%) = (PS / PF) * 100$$

Avec
PS : Poids sec (g)
PF: Poids frais (g)

2.3. Analyses minérales

Des échantillons de feuilles, de tiges et de racines ont été collectés à partir de chaque type de traitement des trois lots de plantes. Une fois prélevés, les échantillons ont été lavés afin de se débarrasser de la poussière et des débris puis desséchés dans l'étuve à 74°C pendant 48 heures jusqu'à constance du poids. Ensuite, les différents organes végétatifs desséchés sont broyés finement et la poudre végétale ainsi récupérée est conservée dans des piluliers hermétiques pour le dosage des éléments minéraux.

Après broyage, calcination et minéralisation avec l'acide nitrique (HNO_3) dilué (1N) le dosage des cations échangeables et des métaux lourds a été procédé.

Le dosage du sodium, du potassium a été fait sur l'extrait obtenu par minéralisation grâce à un photomètre à flamme de marque JENWAY.

Le dosage des métaux lourds a été fait sur l'extrait obtenu par minéralisation à l'aide d'un spectrophotomètre à absorption atomique (analytikjena) aux longueurs d'onde correspondantes.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Caractéristiques physico-chimiques des EUT

Les résultats obtenus (CRDA, 2008), montrent que les EUT provenant de la station d'épuration Sfax Sud sont généralement alcalins avec un pH qui est égal à 7,59. Cette valeur se situe dans l'intervalle 6,5-8,5 de la norme tunisienne de réutilisation des EUT.

De plus, la conductivité électrique (CE) enregistrée est très élevée (6,33 mS/cm) mais elle ne dépasse pas la norme qui est fixée à 7 mS/cm. Cette valeur est par conséquent un indicateur de la forte salinité de ces effluents. La valeur élevée de CE est en fait due aux fortes concentrations des chlorures et de sodium qui sont respectivement 1349 mg/l et 825 mg/l. Dans ce sens, il est à noter que l'olivier est un arbre modérément tolérant à la salinité. Selon Chartzoulakis (2005), cette espèce peut être irriguée, sans dégâts, avec une eau contenant 3200 ppm de sels (CE=4,5 mS/cm). En terme de fertilisation, ces eaux montrent une richesse en éléments fertilisants, notamment en azote et en potassium ce qui pourrait entraîner une augmentation du taux de la matière organique et des éléments nutritifs du sol et par conséquent une amélioration des rendements des plantes cultivées. Concernant les métaux lourds, les concentrations sont généralement faibles et ne dépassent pas les normes à l'exception du cadmium et du plomb. Pour cela, l'irrigation par les EUT pendant une longue période pourrait engendrer une accumulation de ces métaux au niveau du sol ainsi qu'une phytotoxicité. Concernant les quatre traitements hydriques appliqués, des mesures de la conductivité électrique de ses différents traitements ont montré que la CE des eaux de robinet sont beaucoup moins faibles que celle des EUT. Egalement plus on augmente la dilution des EUT plus la CE devient plus faible et par conséquent la salinité de ces eaux devient plus faible et donc convenable à l'irrigation des plantes d'olivier (Tableau 1).

Tableau 1. La conductivité électrique (CE) des différents traitements hydriques

Traitement	CE (mS/cm)
EUT	6,33
EUT diluées à 1/2	4,13
EUT diluées à 1/3	3,59
Eau de robinet	2,22

3.1. Allongement végétatif des plantes

Le suivi de la croissance des plantes durant la période d’irrigation par les EUT a porté sur l’allongement des pousses (Fig. 1). En effet, on remarque que les plantes inoculées soit par la souche M_1 (*Glomus deserticola*) ou la souche M_2 (*Gigaspora margarita*) ont montré une amélioration en hauteur et en nombre des pousses auxiliaires en comparaison avec celles non mycorhizées. Cette amélioration de la croissance chez les plantes mycorhizées a été enregistrée pour tous les types de traitements hydriques appliqués lors de cette étude. En comparant l’effet des deux souches utilisées sur l’élongation des plantes, on note que les meilleurs résultats ont été observés chez les plantes inoculées par *Gigaspora margarita*. Les résultats ainsi obtenus ont été montrés par Porras-Soriano *et al*., (2009) qui ont enregistré une amélioration du nombre des pousses ainsi qu’une meilleure élongation des plantes inoculées par trois différentes souches de mycorhizes en comparaison avec les plantes témoins non mycorhizées.

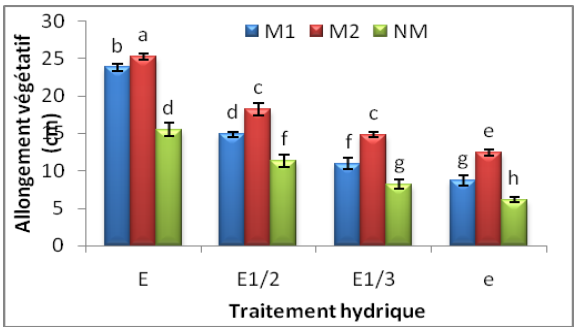


Figure 1. Variation de l’allongement végétatif (cm) en fonction de la souche mycorhizienne et du traitement hydrique (Chaque histogramme indique la moyenne de 3 répétitions ±l’écartype). Les histogrammes ne portant pas la même lettre sont significativement différents à $p \leq 0,05$ en utilisant le test Duncan

3.2. Rendement en matières sèches (%)

La figure 2 illustre les teneurs en matières sèches (MS) des différentes plantes en fonction de la souche mycorhizienne et le traitement hydrique appliqué.

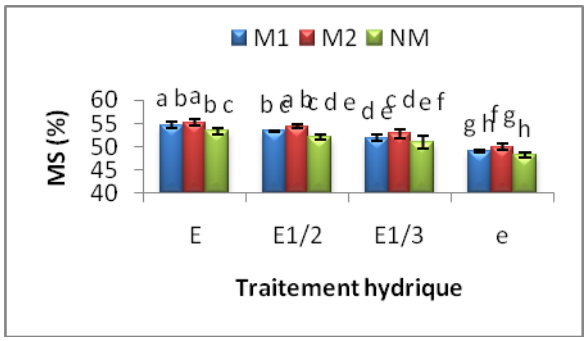


Figure 2. Variation du rendement en matières sèches (MS) en fonction de la souche mycorhizienne et le type de traitement hydrique (Chaque bar indique la moyenne de 3 répétitions ± l’écartype). Les histogrammes ne portant pas la même lettre sont significativement différents à $p \leq 0,05$.

Selon les résultats révélés (Fig. 2), on remarque que les rendements de la matière sèche varient légèrement en fonction de la qualité des eaux d’irrigation et de la souche mycorhizienne utilisée. En effet, pour tous les traitements hydriques confondus, les biomasses des plantes sont légèrement plus importantes chez les plantes mycorhizées (52,64 %) en comparaison avec les plantes témoins (51,09 %). Cette augmentation significative de la biomasse est en accord avec l’allongement des pousses. Des résultats similaires ont été observés par Porras-Soriano *et al*. (2009) qui ont remarqué une amélioration des biomasses des plantes inoculées par trois souches différentes de mycorhizes. En réalité, l’amélioration de la nutrition minérale et hydrique chez les plantes mycorhizées, grâce à l’extension des hyphes extra-radiculaires. En comparant les souches mycorhiziennes, on remarque que la souche M_2 a contribué à une légère amélioration de la biomasse des plantes (53,08 %) en comparaison avec la souche M_1 (52,20 %).

3.3. Distribution des éléments minéraux entre les organes

3.3.1. Le rapport de sélectivité K^+/Na^+

Les résultats illustrés dans le tableau 2 montrent que le rapport de sélectivité est beaucoup plus faible dans les racines des plantes non mycorhizées et surtout lorsque elles sont irriguées par une eau normale (0,17). Ceci pourrait être dû au taux élevé de Na+ absorbé par ces plantes.

Tableau 2. Variation de la distribution du rapport K^+/Na^+ dans les feuilles, les tiges et les racines des plantes inoculées par M_1, M_2 et des plantes témoins selon le traitement hydrique. Les chiffres ne portant pas la même lettre sont significativement différents à $p \leq 0,05$ en utilisant le test Duncan.

	M1			**M2**			**NM**		
	Feuille	Tige	Racine	Feuille	Tige	Racine	Feuille	Tige	Racine
E	3,85 ±0,43 (d)	0,76 ±0,09 (b)	0,24 ±0,03 (a)	4,38 ±0,33 (d)	1,49 ±0,09 (c)	0,26 ±0,01 (a b)	3,49 ±0,39 (e)	0,88 ±0,03 (c d)	0,24 ±0,01 (b)
E1/2	3,23 ±0,37 (d)	0,81 ±0,10 (b)	0,24 ±0,02 (a)	5,46 ±0,97 (d)	1,45 ±0,20 (c)	0,26 ±0,02 (a b)	2,89 ±0,18 (e)	0,67 ±0,04 (c)	0,23 ±0,02 (b)
E1/3	2,85 ±0,16 (d)	1,19 ±0,17 (c)	0,26 ±0,01 (a)	5,10 ±0,41 (d)	1,45 ±0,15 (c)	0,29 ±0,05 (b)	2,64 ±0,21 (e)	1,71 ±0,20 (d e)	0,19 ±0,01 (a)
e	4,50± 0,29 (d)	2,96 ±0,22 (d)	0,24 ±0,01 (a)	5,99 ±0,14 (d)	1,58 ±0,17 (c)	0,25 ±0,02 (a)	3,20 ±0,35 (e)	0,87 ±0,05 (c d)	0,17 ±0,03 (a)

En comparant l’effet des deux souches, on constate que le rapport K^+/Na^+ est légèrement moins élevé chez les jeunes oliviers inoculés par M_1. Ce résultat pourrait être expliqué par la performance de la souche M_2 en favorisant une meilleure absorption de K. De plus, le rapport K^+/Na^+ est plus important au niveau des feuilles avec une très faible variation entre les traitements hydriques. Ceci s’explique par le faible taux de sodium dans les feuilles grâce à l’existence du phénomène d’exclusion naturel qui est particulièrement plus efficace chez les plantes mycorhizées. Ce taux est égal à 5,99 chez les plantes inoculées par M_2 et irriguées avec une eau normale. En fait, le phénomène d’exclusion permet d’atténuer la translocation des ions toxiques vers la partie aérienne, la limitation du stress osmotique et la protection des tissus en croissance. Toutefois, ce rapport de sélectivité est très faible au niveau des racines surtout au niveau des plantes non mycorhizées et irriguées par des eaux normales. Ceci est probablement dû à la pauvreté des eaux de robinet en ions K^+ et par conséquent il paraît que les racines mycorhizées absorbent et conservent une quantité de sodium supérieure à celle des racines non inoculées. Ces résultats confirment ceux de Rinaldelli et Mancuso (1996) qui ont trouvé un rapport K^+/Na^+ plus faible dans les racines que dans les feuilles et ceci surtout chez les plantes mycorhizées.

Distribution des métaux lourds non essentiels: Le cadmium

Les résultats enregistrés dans la figure 3, montrent que les concentrations de cadmium absorbées par les différentes plantes d’olivier sont plus importantes chez les plantes non mycorhizées. En fait, pour tous les traitements hydriques confondus, les plantes inoculées par M_1 et par M_2 ont absorbé respectivement 1,333 ppm et 1,350 ppm de Cd alors que les plantes non mycorhizées ont absorbé 1,992 ppm de Cd. Les champignons ont contribué au freinage de l’absorption de Cd par les jeunes oliviers. De plus, l’irrigation par des EUT a provoqué une intense accumulation de Cd au niveau des différents organes des plantes surtout celles non mycorhizées. En effet, les EUT utilisées en irrigation des oliviers contiennent des concentrations très élevées en cet élément dépassant les normes tunisiennes fixées pour l’utilisation agricole (0,035 mg/l). L’accumulation de Cd dans les tissus végétaux décroît en utilisant des eaux usées plus diluées. En ce qui concerne la distribution du Cd au niveau des différents organes des plantes, on remarque une accumulation excessive de cet élément au niveau des racines de toutes les plantes sauf celles irriguées par des eaux normales. Les taux de Cd dans les racines et les tiges sont moins importants chez les plantes inoculées surtout par la souche M_1. Cependant, les feuilles des plantes sont les organes dont l’accumulation par ce métal toxique a été la moindre.

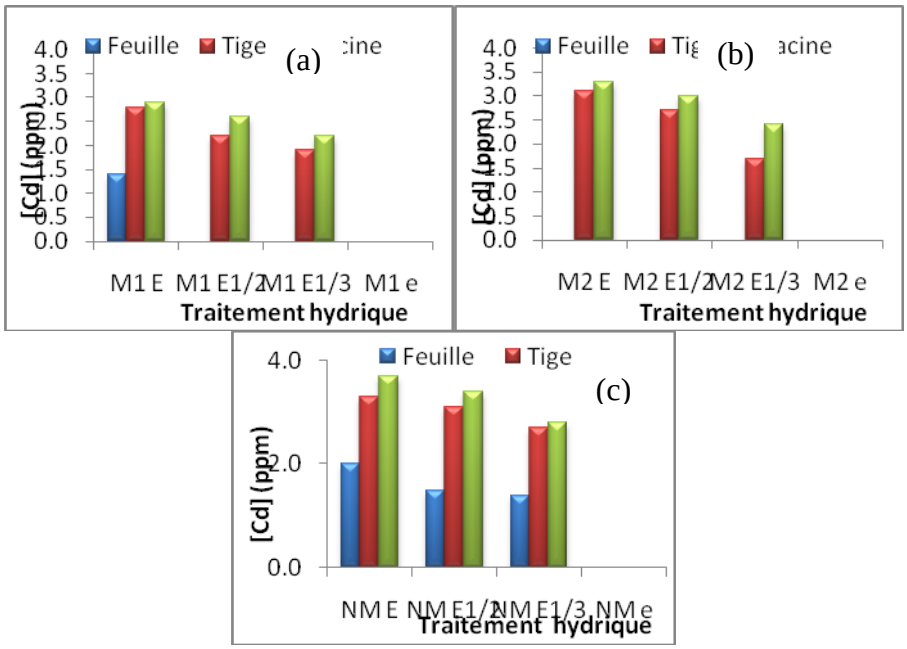


Figure 3. Variation dela distribution du Cd dans les feuilles, les tiges et les racines des plantes inoculées par M_1 (a), M_2 (b) et des plantes témoins (c) selon le traitement hydrique

En effet, la translocation de cet élément vers les feuilles a été détectée chez toutes les plantes non mycorhizées sauf celles irriguées par des eaux normales. Cependant, seules les plantes irriguées par des EUT non diluées et inoculées par la souche M_1 ont enregistré une accumulation de Cd dans les feuilles (1,4 ppm) alors que chez toutes les autres plantes inoculées aucune trace de Cd n’a été révélée.

4. CONCLUSION

Durant la période d’irrigation par ces effluents, le suivi de la croissance végétative a montré que la symbiose mycorhizienne ainsi que l’irrigation avec des EUT non diluées ont contribué ensemble à une meilleure croissance des plantes d’olivier. Toutefois, la meilleure croissance a été enregistrée chez les plantes inoculées par la souche *Gigaspora margarita*.

Concernant la nutrition minérale, le dosage des macroéléments et des éléments traces essentiels a permis d’apprécier un enrichissement par ces éléments dans les différents organes des plantes irriguées par les EUT et inoculées surtout par la souche *Gigaspora margarita*. Alors qu’en ce qui concerne les métaux lourds. Les EUT ont contribué à une accumulation du métal toxique (Cd) dans les organes des plantes. Toutefois, les mycorhizes et surtout la souche *Gigaspora margarita* ont permis une réduction de l’ascension de ces métaux vers la partie aérienne (feuilles). Ces résultats nous ont permis de constater le rôle important des mycorhizes dans l’absorption des éléments nutritifs grâce à leurs hyphes extra radiculaires d’une part, et leur rôle dans l’atténuation de la translocation des métaux lourds en l’occurrence le Cd vers la partie aérienne d’autre part.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Arias JA, Peralta-Videa JR, Ellzey JT, Ren M, Viveros MN et Gardea-Torresdey JL. (2010) : Effects of *Glomus deserticola* inoculation on *Prosopis*: Enhancing chromium and Lead uptake and translocation as confirmed by X- ray mapping, ICP-OES and TEM techniques. Environmental and experimental botany, 68,139-148.

-Arriagada C, Pereira G, García Romera I, et Ocampo JA. (2010) : Improved Zinc tolerance in Eucalyptus globulus inoculated with *Glomus deserticola* and *Trametes versiclor* or *Coriolopsis rigida*. Soil biology & biochemistry, 42, 118-124.

-Bedbabis S, Ferrara G, Ben Rouina B et Boukhris M. (2010) : Effects of irrigation with treated wastewater on olive tree growth, yield and leaf mineral elements at short term. Scientia Horticulturae, 126,345-350.

-Charfi D, Medhioub K et Trigui A. (2003) : Impact des eaux usées épurées sur le sol d'El Hajeb et sur le développement de l'olivier (Sfax). Techniques sciences méthodes, génie urbain génie rural, 4 , 59-65.
-Chartzoulakis, K. (2005) : Salinity and olive: Growth, salt tolerance, photosynthesis and yield. Agric.Water Manag., 78, 108-121.
-Citernesi A S, Vitagliano C et Giovannetti M. (1998) : Plant growth and root system morphology of olea europaea L. rooted cuttings as influenced by arbuscular mycorrhizas. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 73, 5: 647-654.
-CRDA. (2008) : Rapport d’analyses physico chimiques des eaux usées traitées de la station d’el Hajeb (OTD Chaaal).
FAO (2003) : Organisation des Nations Unies pour l’Alimentation et l’Agriculture : L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. 73 p.
-Ismaïl M. (2009) : Effet des mycorhizes sur des plantules d’olivier (*Olea europaea* L.) irriguées avec les eaux usées traitées. Mastère de l’Institut Supérieur de Biotechnologie de Sfax : 68 p.
-Kapoor R, Sharma D et Bhatnagar AK. (2008) : Arbuscular mycorrhizae in micro-propagation systems and their potential applications. *Scientia Horticulturae*, 116, 227-239.
-Khabou W. (2012) : Réponses et mécanismes de tolérance chez quatre cultivars d’oliviers (*Olea europaea* L.) soumis à un stress salin et contribution à sa réduction par une endmycorhize (*Glomus intraradices* Shenk and Smith). Thèse Doc. Fac. Sci. Tunis, 163 p.
-Pandey N. et Prakash Sharma C. (2002) : Effect of heavy metals Co2+, Ni2+ and Cd2+ on growth and metabolism of cabbage. Plant Science, 163, 753-758.
-Porras-Soriano A , Soriano-Martín M.L., Porras-Piedra A., Azcón R., (2009) : Arbuscular mycorrhizal fungi increased growth, nutrient uptake and tolerance to salinity in olive trees under nursery conditions. Journal of Plant Physiology, 166, 1350-1359.
-Rinaldelli E et Mancuso S. (1996) : Response of young mycorrhizal and non- mycorrhizal plants of olive tree (Olea europaea L.) to saline conditions. I. Short-term electrophysiological and long-term vegetative salt effects. Adv. Hort. Sci. 10, 126-34.
-Rusan M J M , Hinnawi S et Rousan L. (2007) : Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination, 215, 143-152.
-Trotta A , Falaschi P , Cornara L , Minganti V , Fusconi A , Drava G et Berta G. (2006) : Arbuscular mycorrhizae increase the arsenic translocation factor in the As hyperaccumulating fern *Pteris vittata* L. Chemosphere, 65, 74-81.
-Yadav R K , Goyal B , Sharma R K , Dubey S K et Minhas P S. (2002) : Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and groundwater—A case study.Environmental International, 28, 481-486.

Effet de *Glomus deserticola* sur des plantes d’oliviers (*Olea europaea* L.) soumises à un stress salin: Aspects écophysiologiques et biochimiques

Khabou wahid[1], Salhi Zayneb[2], Ben Abdallah Ferjani[2], Feki Lotfi[2], Drira Noureddine[2]
[1]Institut de l’Olivier, Sfax, Tunisie
[2]Faculté des sciences de Sfax, *Sfax, Tunisie*
Email: khabou_wahid@yahoo.fr

RESUME
Des plantules d’olivier (*Olea europaea* L.) de la variété à huile Chemlali âgées de 2 ans et cultivées dans des pots en PVC de 15 litres contenant une terre végétale. Au moment de leurs transplantations les plantules ont été inoculées avec une endomycorhize (*Glomus deserticola)*. Dans le but d’évaluer la tolérance à la salinité les plantules mycorhizées sont irriguées pendant six mois avec une eau contenant 3 gradients de NaCl (25, 75 et 100 mM). En se basant sur l’analyse de certains paramètres éco-physiologiques et biochimiques, les résultats obtenus ont montré que les teneurs en sodium sont plus importantes au niveau des racines. Les teneurs en potassium et calcium ont subi une diminution en fonction de la dose de NaCl appliquée. En comparaison avec le témoin (plantes non mycorhizé) la souche mycorhizienne a amélioré le mécanisme d’exclusion au niveau des racines des plantes mycorhizées. Une réduction moins importante en chlorophylles, phosphore et amidon a été observée chez les plantes mycorhizées. D’autres paramètres éco physiologiques, agronomiques et biochimiques ont été affectés par la salinité et que l’inoculation mycorhizienne les a amélioré.
Mots clés : *Olea europaea*, *Glomus deserticala*, Nacl, absorption minérale, exclusion racinaire, osmolytes.

1-INTRODUCTION

La salinité est une contrainte majeure dans la réduction de la production végétale à l’échelle mondiale. En Tunisie, face à la limite quantitative des ressources hydriques, les agriculteurs recourent à l’utilisation d’eaux de qualité moyenne à médiocre pour irriguer leurs cultures.
L’utilisation fréquente de ces eaux même chez des espèces tolérantes, engendre chez celui-ci des perturbations physiologiques et agronomiques qui peuvent aboutir à la réduction notable de la production. En effet, la présence du sel en forte concentration réduit et peut inhiber le métabolisme cellulaire et la photosynthèse (Tremblin et Coudret., 1986) par l’imposition d’un stress osmotique (Hayashi et Murata., 1998) et par l’accumulation de l’ion nocif Na+ (Niu et al., 1995; Ashraf et Foolad, 2007). De ce fait une augmentation des sucres totaux résultant d’un blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d’une forte hydrolyse de l’amidon est observé (Asloum, 1990). Selon Hadjadj (2009) si la concentration en sel excède le niveau de tolérance de la plante on assiste à la destruction de la chlorophylle. Si chez certaines halophytes, la croissance est stimulée par un apport modéré de sel, ce phénomène reste limité par un niveau de tolérance chez les glycophytes. La salinité entraine une augmentation de la densité des trichomes (Botti et al, 1998 ; Khabou, 2012). Les paramètres stomatiques figurent parmi les meilleurs indicateurs sur l’adaptation d’une espèce à son milieu (Ait–Said et al, 2005). Sous l’effet d’un stress salin, des changements se sont signalés dans la longueur, la largeur et la densité des stomates des feuilles d’arganier (Alilou et al, 2006). La présence de poils ou trichomes assure un rôle important dans la réduction de la transpiration. Le stress salin induit chez l’olivier un changement profond dans échanges gazeux des feuilles. Tattini et al. (1995) montrent chez certains cultivars soumis à un stress salin ascendant, une réduction de la conductance stomatique et de la transpiration.L’association d’une plante hôte avec des endophytes permet de réduire les symptômes du stress en renforçant les mécanismes protecteurs intrinsèques de la plante (Ruiz-Lozano, 2003). La réponse des plantes mycorhizées en condition de sécheresse se traduit par de meilleurs taux de transpiration et de photosynthèse (Augé, 2001).

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériel végétal et conditions et protocole d’expérimentation

Ce travail a été réalisé dans la pépinière de l’Institut de l’Olivier à Sfax (200 mm/an, température moyenne 23°C avec un maxima de 35°C). Le matériel végétal utilisé est constitué des plantes

d’oliviers de la variété à huile Chemlali issues de boutures semi-ligneuses et âgées de 2 ans. Le substrat est composé de sable inerte. Les plants d’olivier ont été transplantés dans des pots en PVC noir de 5 litres. Le protocole expérimental, conduit sous serre, est un essai factoriel comportant deux lots: un premier lot de plants mycorhizés (MZ) en ajoutant au substrat 3 g d’inoculum de *Glomus deserticola* au voisinage des racines des plantes .Un deuxième lot de plants non mycorhizés (NMZ). Chaque lot est divisé en trois blocs selon le traitement salin, avec 5 répétions/traitement. Les plants ont été irrigués régulièrement par l’eau douce pour les quatre premières semaines, ensuite ils ont été irrigués avec une eau contenant3 gradients de NaCl: 1,45 g/l (S0 pris comme témoin); 4,35g/l(S1) et 5,8 g/l (S2) correspondant respectivement à 25mM, 75 mM et 100 mM Pour éviter le choc pouvant être du par l’excès de sel, les doses ont été fractionnées en fonction du nombre d’irrigation. Les analyses statistiques de tous les paramètres étudiés ont été faites par le logiciel SPSS 20 (Statistical Package for the Social Sciences) suivant le modèle linéaire général univarié en utilisant le test Duncan pour la comparaison des moyennes.

2.2. Détermination de la densité stomatique et trichomique

La méthode utilisée pour la détermination de la densité des stomates est celle de l’empreinte épidermique (Jones, 1983).

2.3. Dosage des chlorophylles et des caroténoïdes

Pour l’extraction de la chlorophylle on découpe 5 disques foliaires qu’on place dans un mortier, on leur ajoute 1 ml d’acétone (100%) et on les écrase. Ensuite on procédé à la filtration de l’extrait à travers un filtre millipores de 5 µm. Pour l’élimination des débris végétaux. On ajuste le volume à 10 ml avec l’acétone et on conserve l’extrait dans un tube à essai couvert de papier aluminium et fermé d’une manière étanche pour éviter la dégradation des pigments. On mesure immédiatement les pigments chlorophylliens et les caroténoïdes avec un spectromètre en utilisant les longueurs d’onde suivantes 661.6, 644.8 et 470 nm.

Pour déterminer la quantité de chlorophylles et de caroténoïdes, plusieurs équations ont été développées selon différents auteurs en relation avec les solvants utilisés dans l’extraction.

Dans notre cas les formules utilisées celle décrites par (Hartmut, 1987).

2.4. Dosage des sucres solubles

Le dosage est réalisé suivant la méthode de Robyt et White (1987). A 0,3 g de matière fraiche, on ajoute 5 ml méthanol 80 %. Les échantillons sont chauffés dans un bain marie à 70°C pendant 30 min. on prélève après refroidissement, 1 ml d’extrait au quel on ajoute 1 ml de phénol 5 % et 5ml d’acide sulfurique concentré.Après refroidissement et agitation on mesure les teneurs en sucres totaux par spectrométrie à 640 nm. L’étalonnage de l’appareil s’effectue à l’aide de solution de glucose de concentrations allant de 0 jusqu’à 4 g /l.

2.5. Dosage de l’amidon

On aoute20 ml d’alcool éthylique 70% au 0,3 g de matières sèches. Après 48 heures de repos, on procède à une la centrifugation (3500 tours/minute). Après dessiccation à l’étuve à 60°C, on ajoute l’acide perchlorique 70% (5,7 ml pour 0,3 g d’extrait sec) et on fait ajuster le volume à 250 ml à l’eau distillée. Après repos pendant 48 heures on prend 7 ml de la solution auquel on ajoute 0,5 ml d’une solution d’iode (0,1 g KI + 0,02 g KIO_3 dans 100 ml d’eau distillée). Après 5 heures, une lecture au spectrophotomètre est faite à 675 nm (Nelson, 1943).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. La densité stomatique et trichomique

Les résultats ont montré que la densité stomatique diminue avec l’augmentation du stress salin (Tableau 1). En effet, la densité stomatique diminue de 620 chez les témoins mycorhyzés (MS0) à 380 chez les plantes mycorhizées irriguées avec la dose S2. Cette diminution dans la densité des stomates est toujours moins prononcée chez les plantes mycorhyzées pour tous les traitements. Ceci est expliqué par le fait que pour réduire les pertes en eau, les plantes ajustent le nombre de ses stomates, essentiellement celles des feuilles jeunes. Ces résultats confirment ceux obtenus par kasraoui et al.

(2004) et Khabou (2012) qui ont montré que chez l’olivier la densité stomatique diminue au fur et à mesure que le stress salin augmente.

Tableau 1. variation de la densité des stomates et des trichomes chez les jeunes feuilles en fonction de l’inoculation mycorhizienne ; M (mycorhizées) et NM (non mycorhizées) et de traitement salin S0, S1 et S2 (Chaque bar indique la moyenne de trois répétitions ± l’écartype) .Les chiffres ne portant pas les mêmes lettres sont significativement différentes à P < 0.05 selon le test Duncun.

	MS0	NMS0	MS1	NMS1	MS2	NMS2
Stomates	620 ± 80 a	510 ± 5 ab	480 ± 78 abc	450 ± 26,5 abc	380 ± 87 bc	320 ± 45 c
Trichomes	125 ± 30 b	170 ± 35 b	200 ± 40 b	220 ± 32 b	235 ± 25 b	250 ± 35 a

Pour les trichomes et d’après résultats obtenus (Tableau 1), leur nombre augmente quand la dose de NaCl augmente. En effet, la densité des trichomes passe de 125 chez les plantes mycorhyzées témoin (S0) à 235 chez les plantes mycorhizées irriguées et traitées avec S2 (100 mM). D’après le même tableau on constate que la densité des trichomes est légèrement chez les plantes mycorhizées en comparaison avec les non mycorhizées. Nos résultats se coincident avec d’autres qui indiquent que la présence de trichomes joue un rôle tés important dans la réduction des pertes d’eau à travers les stomates car leur présence ralentit la circulation de l’air au-dessus des stomates, diminuant ainsi la transpiration (Schwabe et Lionakis, 1996; Abassi et al 2012).

3.2. Les pigments chlorophylliens

Les resultats illustrées dans le graphique (Figures 1 et 2) monrent que les teneurs des feuilles en chlorophylles et caroténoïdes, diminuent au fur et à mesure avec l’augmentation de la concentration de Na Cl. En effet, bien qu’elles soient faibles, ces pigments sont légèrement plus importants chez les plantes mycorhizeés. La teneur des feuilles en chlorophylle a+b varie de 0,64 mg/g de MF à 0,52 mg/g de MF pour les plantes non inoculées traitées avec S0 et S2 respectivement, ainsi, les caroténoïdes diminuent de 0,72 mg/g de MS à 0,44 mg/g de MS pour les mêmes traitements.Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Ben Ahmed (2009) ayant montré que la chute de la teneur en pigments photosynthétiques résultant de l’irrigation à l’eau saumâtre.

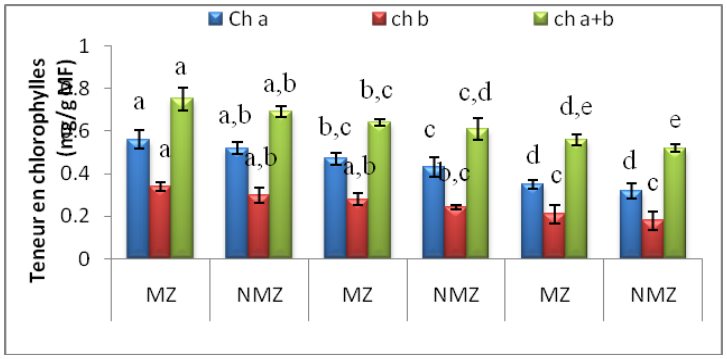


Figure 1. Variation la teneur en chlorophylles au niveau des feuilles en fonction de l’inoculation mycorhizienne et des traitements salins S0, S1 et S2 (Chaque bar indique la moyenne de trois répétitions ±l’écartype). Les barres ne portant pas la même lettre sont significativement différentes à P< 0.05 selon le test Duncun.

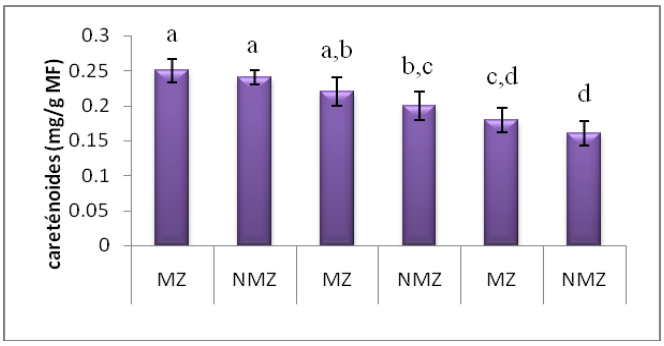


Figure 2. Variation de la teneur en caroténoïdes au niveau des feuilles en fonction de l’inoculation mycorhizienne et de traitement salin S0, S1 et S2 (Chaque bar indique la moyenne de trois répétitions ± l’écartype). Les barres ne portant pas la même lettre sont significativement différentes à P< 0.05 selon le test Duncun.

Ben Ahmed et al (2008) ont montré que le stress salin entraîne la chute de la teneur des chlorophylles a et b et des caroténoïdes. Cette diminution est observée d’une façon nette au niveau des feuilles adultes qui commencent à manifester la chlorose et chutent avec le prolongement de la période du stress salin. Cependant, Chartzoulakis et al (2002, 2005) ont montré que la photosynthèse diminue chez l’olivier soumis à un stress salin, ceci se traduit par conséquent par une réduction des pigments chlorophylliens.

3.3. Les sucres solubles

L’analyse des résultats enregistrés dans la figure 3 révèle que la teneur des sucres solubles (SS) au niveau des feuilles augmente avec l’augmentation de la salinité. Les plantes non mycorhizées ont synthétisé plus SS en comparaison avec les plantes inoculées. En effet, chez les plantes irriguée avec la dose de (5,8 g), la teneur en SS est de 8,37 mg/g MF des feuilles des plantes mycorhizées. Alors que chez les plantes non mycorhizées traitées ave la même dose, cette teneur est de 9,31 mg/g MF. Nos résultats confirment ceux de Porcel et Ruiz-Lozano (2004) qui ont remarqué une réduction des SS chez le maïs soumis à un stress hydrique.

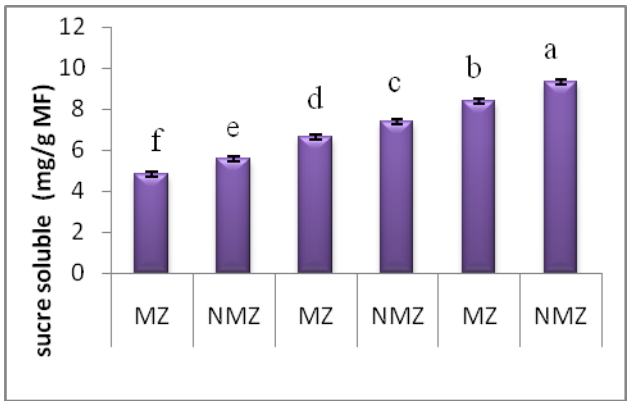


Figure 3. Variation de la teneur en sucres solubles au niveau des feuilles en fonction de l’inoculation mycorhizienne et du traitement salin S0, S1 et S2 Chaque bar indique la moyenne de trois répétitions±l’écartype). Les chiffres ne portant pas les mêmes lettres sont significativement différentes à P< 0.05 selon le test Duncun.

Ces résultats suggèrent que la symbiose établie entre le champignon et l’hôte ait principalement exigé le sucre soluble fourni par la plante au profil du champignon. Tattini et al (1995) ont expliqué l’enrichissement des tissus en sucres solubles, considérés comme osmolytes, par le fait qu’il permet de protéger les fonctions métaboliques au niveau des tissus foliaires de l’olivier dans des conditions de stress salin. D’autres études ont montré que la biosynthèse du mannitol au niveau des feuilles chez l’olivier soumis au stress salin et aux radiations solaires, constitue un moyen adopté par la plante pour faire face à l’endommagement oxydatif découlant de l’effet nocif du sel et aux fortes radiations

(Damiano et al, 2009). De plus, ces solutés permettent de protéger les chloroplastes (Sickler et al, 2007; Slama et al. 2008).

3.4. L’amidon

Bien que faible, la teneur en amidon au niveau des feuilles des plantes mycorhizées diminue sous l’effet de NaCl, en passant de 0,75% à 0,43% respectivement pour les traitements S0 et S2. Et les plantes mycorhizées ont des teneurs légèrements plus élevées que les plantes non mycorhyées. L’accumulation des sucres solubles chez les plantes exposées à un stress salin est généralement accompagnée d’une réduction des teneurs en amidon vu que ce dernier représente la quantité des sucres photosynthétisés par les végétaux et non consommés par la respiration.

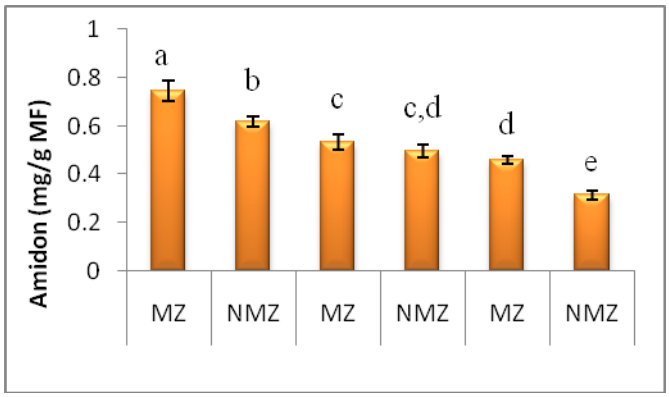


Figure 4. Variation de la teneur en amidon au niveau des feuilles en fonction de l’inoculation mycorhizienne et du traitement salin S0, S1 et S2 (Chaque bar indique la moyenne de trois répétitions ± l’écartype). Les chiffres ne portant pas les mêmes lettres sont significativement différents à P< 0.05 selon le test Duncun.

Cette quantité est déposée dans les chloroplastes des organes vivaces (tiges, racines …) pour constituer une réserve énergétique pouvant être utilisé lorsque la production photosynthétique de la plante est insuffisante pour faire face à ses besoins (Khabou, 1994 et khabou et al. 1996). L’irrigation continue à l’eau saumâtre des oliviers engendre une diminution notable de la concentration d’amidon. Cette diminution résulte soit de l’altération de la synthèse de l’amidon soit d’un processus de dégradation (Ben Ahmed, 2009). Nos résultats sont en accord avec ceux enregistrés par Misra et Gupta (2005) sous des conditions de salinité. Cette diminution significative peut être la résultante de l’altération de la synthèse d’amidon puisque l’assimilation du CO_2 est réduite.

4. CONCLUSION

Le recours aux mycorhizes, comme outil biologique pour réduire l’effet de la salinité, à été testé et confirmé. En effet, les résultats obtenus ont permis de dégager le rôle joué par *Glomus deserticola* dans la réduction des effets nocifs de la salinité sur des plantules d’olivier (*Olea europaea* L.). Au niveau des feuilles, la salinité a provoqué une diminution de la surface foliaire accompagnée d’une diminution de la densité des stomates et une augmentation du nombre des trichomes ce qui a engendré une diminution de la teneur en chlorophylle. La densité stomatique ainsi la teneur en chlorophylle est toujours plus élevée chez les plantules mycorhizées. Des résultats similaires ont été révélés pour la teneur des feuilles en amidon. Ces résultats ouvrent une nouvelle voie, basée sur la production de plants mycorhizées, pour contourner et réduire d’une manière biologique les contraintes édapho-climatiques d’un milieu de plus en plus soumis aux perturbations occasionnées par les changements climatiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Abassi M, Mguis K, Ben Nja Rihab, Albouchi A, Boujneh D et Béjaoui Z. (2012) : Adaptations micromorphologiques foliaires développées par le peuplier blanc (*Populus alba* L.) face à la salinité: Acta Botanica Gallica Journal, 159, 9-15,

-Ait- Said, S, N Smail-Saadoun, and S Kadi-Bennane. (2005) : Etude comparative de trois populations de Pistacia atlantica Desf. (Ain Oussera-Messad-Tamanrasset) par le biais des dimensions stomatiques. Acte des journées Scientifiques de l’INRGREF. Ann. INRGREF 7, 19-26.

-Alilou H, R Rouhi, and LM Idrissi Hassani. (2006) : Effet de la pollution miniére sur les parametres stomatiques chez *Argania spinosa (*L) Biol. Biotec. 5,41-45.
-Ashraf M, MR Foolad. (2007) : Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany, 59, 206-216.
-ASLOUM H. (1990) : Elaboration d’un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicum esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d’eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis, 24- 32.
-Augé RM, (2001) : Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza 11,3-42.
-Ben Ahmed, C, Ben Rouina, B, Boukhris M. (2008) : Changes in water relations, photosynthetic activity and proline accumulation in one year old olive trees (Olea europaea L.cv.chemlali) in response to NaCl salinity. Acta Physiol. Plant. 30,553–560.
-Ben Ahmed C. (2009) : Repenses et stratégies adaptatives de l’olivier Chemlali (Olea europaea L) irrigué à l’eau saumâtre à Sfax. Thèse de doctorat de la faculté des Sciences de Sfax. Tunisie. 182 p.
-Botti C, Palzkill D, Prat L, (1998) : Morphological and anatomical characterization of six jojoba clones at saline and non- saline sites. *Industrial Crops and Products*, 9, 53
-Chatzoulakis K M, Loupassaki M Bertaki, I Androulakis. (2002) : Effects of NaCl salinity on growth, ion content and CO2 assimilation rate of six olive cultivars. Scientia Horticulturae, 96,235-247.
-Chartzoulakis, K. (2005) : Salinity and soil: growth, salt tolerance photosynthsesis and yield. Agric. Water Manag, 78, 108-121
-Damiano R, Melgar, JC, Guidi L, Innocenti E, Castelli S, Traversi ML, Massai R Tattini M. (2009) : Interaction effects of root zone salinity and solar radiance on the physiology and biochemestry of Olea europaea. Environmental and Experimental Botany, 65,210-219.
-Franks P, and GD Fraquah. (2001) : The effect of exogenous abcisic acid on stomatal development, stomatal mechanics and leaf gaz exchange in Trade scantia Virginia. *Plant Physiol*. 125, 935-942.
-HADJADJ S, (2009) : Contribution à l’étude de l’effet de la salinité sur des marqueurs biochimiques (proline et sucres solubles) de plantes juvéniles d’*Atriplex halimus* L. et *d’Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. Mémoire de Magister en Biochimie et analyse des bioproduits, Univer Kasdi Merbah Ouargla, 100 p.
-Hartmut K L. (1987) : Chlorophylls and cartenoids: Pigments of photosynthetic Biomembranes. Journal: *Methods in Enzymology* .Volume 148, 350-381.
-HAYASHI H, MURATA N. (1998) : Genetically engineered enhancement of salt tolerance in higher plants. In: Sato Murata N, (Ed.), Stress Response of Photosynthetic Organisms: Molecular Mechanisms and Molecular Regulation. Elsevier, Amsterdam: 133-148.
-Jones H G. (1983) : Plant and microclimate . Adequative approach to environmental plant physiology; Cambridge Univ.Press. Cambridge, U.K
-Kasraoui M F, Denden M Braham M, Garcia M et Lamaze T. (2004) : Comportement physiologique de deux variétés d’olivier (*Olea europaea* L.) soumises à une contrainte hydrique. Annales de l’INGREF, 6, 49-67.
-Khabou W. (1994) : Contribution à l’etude de la rhizogenése sous conditions controlées de l’olivier Chemlali de Sfax multiplié par bouturage semi ligneux et par semis. Mémoire de fin d’etude, 90 p.
-Khabou W, Trigui A, Ghorbel R et Bejjar S. (1996) : L’amidon dans les rameaux de l’olivier (*Olea europaea* L.). Cv. « Chemlali de Sfax » : Etude comparative de deux méthodes d’hydrolyse. *Olivae*, 61, 57-61.
-Khabou W. (2012) : Réponses et mécanismes de tolérance chez quatre cultivars d’oliviers (*Olea europaea* L.) soumis à un stress salin et contribution à sa réduction par une endmycorhize (*Glomus intraradices* Shenk and Smith). Thèse Doc. Fac. Sci. Tunis, 163 p.
-Misra,N, Gupta AK. (2005) : Effect of salt stress on proline metabolism in two high yielding genotypes of green gram. Plant Science, 169, 331 -339.
-Nielson J. (1943) : Rpid determination of starch.Ann.Chem.,15,176.- PESIS E.,1978.Starch content and amylase activity in avocado fruit pulp.J.Amer.Soc.Hort.Sci.,10,5,673-676.
-Niu X, Bressan RA, Hasegawa PM, Pardo JM, (1995) : Ion homeostasis in NaCl stress environments. Plant Physiol., 109:735-742.

-Porcel R, Ruiz-Lozano JM. (2004) : Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. J Exp Bot. 55, 1743-50

-Robyt J F and White B J, (1987) : Biochemical techniques: Theory and Practice. Waveland Press. Prospects Heights, pp.56-59

-Ruiz-Lozano JM, (2003) : Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. Mycorrhiza 13, 309-317.

-Schwabe, W Wand SM Lionakis. (1996) : Leaf attitude in olive in relation to drought resistance. *J. Hortic. Sci*. 71,157-166.

-Sickler, CM, Edwards, GEb Kiirats, O Gao, Z et Loescher W. (2007) : Response of mannitol producing *Arabidopsis thaliana* to abiotic stress.Funct.Plant Biol, 34, 382-391.

-Slama I, Ghnaya T, Savouré A et Abdelly C. (2008) : Combined effects of long term salinity and soil drying on growth, water relation, nutrient status and proline accumulation of Sesuvium portilastrum.C.R.Biologies, 331, 442-4

-Tattini, M, Gucci, R, Coradeschi, MA, Ponzio, C et Everard, JD.(1995) : Growth, gas exchange and ion content in Olea europaea plants during salinity stress and subsequent relief. Plant physiol, 98, 203-210.

-TREMBLIN G., COUDRET A. (1986) : Salinité, transpiration et échanges de CO2 chez *Halopeplis amplexicaulis* (Vahl.) Ung. Oecol. Plant. 21,417-431.

Etude du comportement morpho-physiologique et agronomique vis-à-vis la tolérance à la salinité chez des accessions d’orges (*Hordeum vulgare* L.)cultivées dans un écosystème oasien

Kadri karim[1], Aloui Dhouha[2], Makhlouf Souhayla[1], Zied Hammami[2], Trifa Youssef[2]
[1]Centre régional de recherche en agriculture oasienne, BP62 route de Tozeur, km 1,2260 Degach, Tunisie.
[2]Institut National d’agronomie de Tunis, Cité Mahrajen, Menzeh 1, 1080 Tunis, Tunisie

RESUME
L’orge est considérée comme une culture importante en Tunisie. Toutefois, le développement de cette culture et l’amélioration de son rendement sont limités par la salinité des sols et des eaux d’irrigation. L’utilisation de variétés tolérantes à la salinité est devenue impérative. Dans le but d’évaluer le comportement de trente génotypes de l’orge(*Hordeum vulgare* L.) comparativement aux variétés témoins améliorées vis-à-vis à la salinité dans les conditions aride de région de Djerid, une expérience a été conduite en condition semi-contrôlés dans le parcelle de centre de formation professionnelle agricole de Degache. Cetteexpérience est accompagnée par des essais chez différents agriculteurs de Tozeur à fin d’évaluer leur adaptation comparativement à la variété améliorée témoin Rihane aux conditions des agriculteurs. Pour la sélection des génotypes d’orge nous avons adopté une approche intégrative qui comporte une sélection selon des critères de croissance et de rendement. L’analyse en composantes principales montre que les deux axes (ACP1 et ACP2) représentent 70.35% de la variabilité totale. L’axe (ACP1) représente 49.13% de la variabilité totale, Il représente une combinaison linéaire des paramètres RG, RB et RP. L’axe (ACP2) représente 21,22% de la variabilité totale, il est influencé par les valeurs NE, PMG, HZ69, NGE. Le rendement en grain et le rendement en paille semblent représenter les variables les plus importantes générées par cette ACP. Cette ACP montre que le RG est bien corrélé avec le RB par contre le plus le NE est élevé plus le NGE est faible. L’analyse de la variance de parcelle El Manachi (Degache) a montré une différence significative entre les génotypes pour la majorité des paramètres morphologiques mais pas pour le rendement.. Des interactions génotype × traitements sont observées pour les différents paramètres indiquant une large variabilité génotypique pour la salinité. Par ailleurs, cette étude nous a permis de sélectionner quelques génotypes CHK (V48 et V45) PK (V3) locaux (saudi) et allochtones (V26) pour leurs tolérance à la salinité qui peuvent être l’objet d’un programme d’amélioration.
Mots clés : Orge, salinité, paramètres agronomiques, ACP, rendement.

SUMMARY
Barley is considered as an important crop in Tunisia. However, the development of this culture and improving its performance is limited by soil salinity and irrigation water. The use of salt-tolerant varieties has become imperative. In order to evaluate the behavior of thirty genotypes of barley *(Hordeum vulgare* L.) compared to control varieties grown on salinity conditions in the arid region of Jerid , an experiment was conducted under conditions semi- controlled land in the center of agricultural vocational training at Degache . This experience is accompanied by various trials with farmers at Tozeur to assess their adaptation to conditions of farmer’s water salinity and compared to control variety “Rihane”. For the selection of barley genotypes we adopted an integrative approach that includes a selection according to criteria of growth and yield. The principal component analysis shows that the two axes (ACP1 and ACP2) represent 70.35% of the total variability. The axis (ACP1) represents 49.13 % of the total variability; it is a linear combination of RG, RB and RP parameters. The axis (ACP2) represents 21.22% of the total variability is influenced by the values NE, PMG , HZ69 , NGE . The yield of grain and straw yield appear to be the most important variables generated by the ACP. This shows that the ACP RG is well correlated with the RB, however, the NE was higher when the NGE was low. The analysis of variance of the plot El Manachi (Degache) showed a significant difference between genotypes for the majority of morphological parameters but not for performance.Genotype × treatment interactions were observed for the different parameters indicating a wide genotypic variability for salinity. Moreover, this study allowed us to select some genotypes CHK (V48 and V45) PK (V3) local (saudi) and allochthonous (V26) for their tolerance to salinity may be the subject of a program to improve.
Key words: Barley, salinity, agronomic parameters, ACP performance.

1. INTRODUCTION

La salinité est l’un des problèmes majeurs qui limitent la production agricole dans le monde (Wei *et al.*, 2003). Cet effet est prédominant au niveau des terres irriguées(Epstein *et al*., 1980). En effet la moitié des terres cultivées dans le monde sont actuellement affectées par la salinité dont 20% de terres irriguées(Shuji *et al*., 2002). D’après (Vinocur et Altman, 2005), 50% des terres labourables seront cibles de salinisation vers l’an 2050.

Des statistiques effectuées en 2005 ont révélé qu’actuellement 2% de la surface totale en Afrique est affecté par la salinité (FAO, 2006)ce pourcentage atteint les 5% au Proche-Orient. Ces nombres ne cessent d’augmenter avec l’extension de l’agriculture et l’utilisation intensive des ressources en eaux, combinés à une forte évaporation dans les régions arides et semi arides (OECD, 2004), ce qui conduit inévitablement à la salinisation des sols et des nappes d’eau. Cette situation est aggravée par la raréfaction des ressources en eau douce. La Tunisie, dont une grande partie est située dans les étages climatiques semi aride et aride est confrontée de plein fouet à ce problème. A titre d’exemple, 50% des eaux souterraines dans le sud de la Tunisie sont des eaux saumâtres titrant entre 2 et 6g/l.

La sélection des variétés tolérantes, l’amélioration des plantes et l’exploitation modérée des ressources en eaux semblent être des procédures indispensables pour limiter les dégâts causés par la salinisation des terres et des eaux; ces types d’études permettront une meilleure production végétale et une meilleure exploitation des eaux chargées telle que les eaux de drainage (Munns et al, 2008).

La réponse au stress salin englobe une adaptation à la baisse du potentiel osmotique et une action anti-oxydante (ou encore détoxification) (Muschitz, 2009), ces mécanismes de protection contribuent à la fois à la tolérance de base qui existe de façon naturelle chez la plante et lui permet de survivre dans les conditions normales et à la tolérance induite qui apparait après la mise en place des conditions du stress abiotique comme la salinité (Rady et al, 2001).

Notre travail, réalisé dans le cadre des projets de recherche fédérée ‘Amélioration de la Productivité de l’Orge dans le Sud’, vise à identifier des génotypes d’orge adaptés à l’irrigation par de l’eau chargée dans un écosystème oasien. En effet, dans les oasis, l’eau d’irrigation en excès est canalisée au niveau des drains. Ces eaux de drainage sont salées et sont peu valorisées dans certains cas. Nos essais ont donc porté sur l’évaluation de plusieurs paramètres de développement et de rendement de 30 génotypes d’orge (*Hordeum vulgare)* autochtones, allochtones et améliorés, cultivés soit sous irrigation par de l’eau douce ou par de l’eau de drainage.

2. MATERIELS & METHODES

2.1 Matériel végétal

Les essais sont portés sur 30 génotypes d’orge (*Hordeum vulgare* L.) dont 4 lignées purifiées de populations locales, 4 variétés améliorées (Tableau 1) et 22 cultivars introduits fournies par Mr Hafed Nasr dans le cadre d’une collaboration avec l’ICBA (International Center for Biosaline Agriculture).

Tableau 1. Les différents génotypes d’orge cultivés

Génotypes	code	origine
Rihane	*A6*	*Amélioré*
Tej	*A7*	*Amélioré*
konouz	*A8*	*Amélioré*
Manel	*A9*	*Amélioré*
Barley Médenine	*V28*	*Autochtone*
Ardhaoui	*V29*	*Autochtone*
Saudi	*V41*	*Autochtone*
Arbi Abidh	*V32*	*Autochtone*
PK 30109	*V1*	*Allochtone*
PK 30046	*V2*	*Allochtone*
PK 30163	*V3*	*Allochtone*
PK 30118	*V5*	*Allochtone*
100/1B	*V22*	*Allochtone*
111/4A	*V18*	*Allochtone*

16/2A	*V35*	*Allochtone*
113/1B	*V40*	*Allochtone*
Australian	*V37*	*Allochtone*
ICARDA 20	*V8*	*Allochtone*
51/1B	*V21*	*Allochtone*
186 AD	*V27*	*Allochtone*
AD/87	*V26*	*Allochtone*
CHK36	*V38*	*Allochtone*
CHK38	*V36*	*Allochtone*
CHK39	*V44*	*Allochtone*
CHK53	*V47*	*Allochtone*
CHK 6	*V39*	*Allochtone*
CHK 37	*V43*	*Allochtone*
CHK 9	*V45*	*Allochtone*
CHK 2	*V48*	*Allochtone*
CHK 1	*V49*	*Allochtone*

2.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un dispositif aléatoire complet randomisé, avec trois répétitions. Chaque parcelle élémentaire (plot ou unité expérimentale) est occupée par une variété donnée et est constituée de dix rangs de 1 m de long qui sont espacés de 0,2 m Ainsi, chaque unité occupe une superficie de 2 m² (Figure 1).

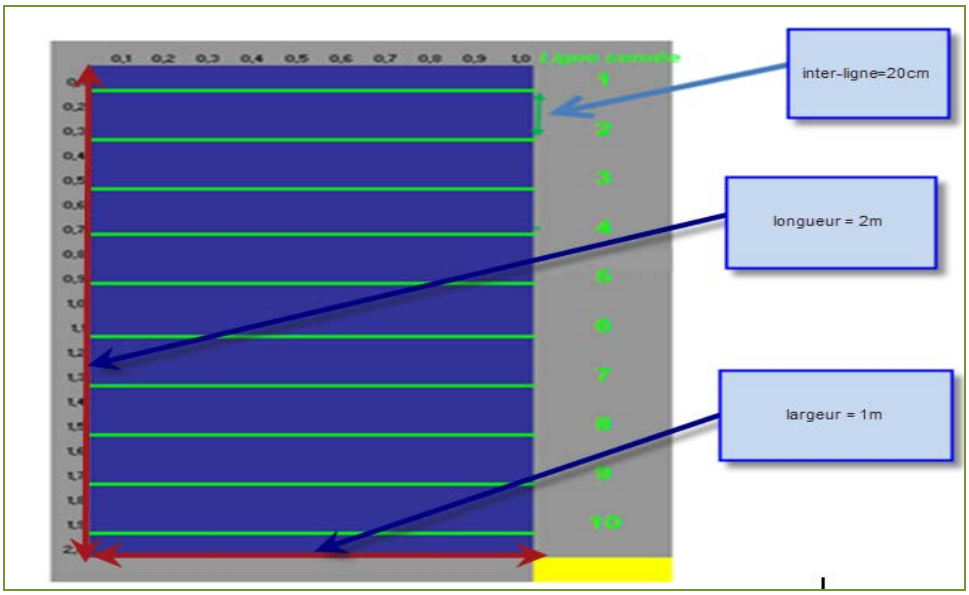


Figure 1. Schéma d’une parcelle élémentaire (unité expérimentale)

Chaque bloc est occupé de 30 unités expérimentales ayant des dimensions 2m × 1m espacées les unes des autres de 0,5m perpendiculairement à leur longueur et de 1,5m perpendiculairement à leur largeur.

Opérations d’implantation

L’orge a été semée d’une façon à avoir 200 plantes/m^2, ce résultat est obtenu en appliquant la formule suivante pour trouver le nombre des graines à semer :

DS = DO + {DO-((DO/100)} + (0.1*DO)

DS : densité de semis.
DO : densité objective de semis =200.
FG : faculté germinative.
0.1 : majoration de 10% pour récompenser tout type de perte.

2.3. Mesure des paramètres agronomiques

Tout au long des essais on a réalisé, plusieurs échantillonnages en fonction du cycle de développement des plantes. On a fait les prélèvements au cours du stade deux nœuds (Z 32), du stade pollinisation complète (Z 69) et enfin à la maturité pour évaluer les composantes du rendement.

2.3.1. Le nombre d’épis par m² (NE) *:*ce paramètre est trouvé par comptage direct des épis collectés sur 2 x0, 5m linéaires de chaque unité expérimentale (multipliée par 5 par la suite pour avoir le nombre par m^2).

2.3.2. Le nombre de grains par épi *:* Une récolte sur 2 x0,5 m linéaires à partir de chaque unité expérimentale est effectuée. Les épis sont séchés à l’étuve à 75°C pendant 48h et on pèse tous les épis issus de chaque unité expérimentale à part ; par la suite on fait un battage mécanique suivi d’un comptage du nombre de grains résultants à l’aide d’un compteur de semences (SeedsCounter NUMIGRALL).

2.3.3. Poids de mille grains (PMG en g) *:*prenant en considération le nombre total des grains (NTG) obtenu après le comptage, chaque échantillon a été pesé pour déterminer le poids total des grains ; à partir des ces deux données on peut calculer le poids de mille grains pour chaque génotype en appliquant la formule suivante :

PMG = NTG / (NE)

PMG : poids de mille grains.
PTG : poids total des grains.

2.3.4. Rendement en grain (RG en g/m^2) *:* ce paramètre est obtenu en multipliant le poids des grains trouvé pour 0,2m^2 par 5 :

RG = PTG*5 | RG : rendement en grain

2.3.5. Rendement Biologique (RB en g /m^2) *:*c’est la biomasse aérienne totale à maturité après l’avoir séché à l’étuve sous une température de 75°C, il est calculée par la formule suivante :

RB = (PP+PE)*5

RB : rendement biologique.
PP : poids de la paille coupée à maturité à partir d’une surface de 0 ,2 m^2.
PE : poids des épis récoltés à partir de cette paille.

2.4. Analyses statistiques

Les résultats ont été analysés selon le modèle d’analyse de la variance compatible avec le plan expérimental afin d’étudier les significations des effets des traitements des génotypes et l’interaction traitement*génotype. Ceci nous permet de comparer les différents génotypes et se renseigner sur leur tolérance aux traitements.

Les moyennes des différents paramètres mesurés sont déterminées sur trois plantes pour chaque bloc, c'est-à-dire sur 9 répétitions pour chaque génotype. La comparaison des moyennes a été réalisée par le test de différence significative (LSD) au seuil de 5%. Ces analyses ANOVA ont été réalisées en utilisant le logiciel PASW Statistics 18.

3. RESULTATS & DISCUSSIONS

3.1 Paramètres de rendement

3.1.1 Nombre d’épis par m^2

Les détails des valeurs du nombre d’épis par m^2 d’orge sont représentés sur la figure 2. Ces valeurs varient entre 258 et 548 épis /m^2 (respectivement A6 et V39) pour les témoins et entre 156 et 465épis/ m^2 d’orge chez V22 et V41 respectivement pour les stressées. L’analyse de la variance du nombre d’épi par m^2 d’orge montre une différence hautement significative de l’effet du traitement et

des variétés au seuil de 1%. Plusieurs travaux comme ceux de (Ben Naceur *et al.*, 2001; Hameed et al 2008) a montré que la salinité affecte négativement la formation des épis. Ils ont montré que le nombre d’épis par unité de surface chez le blé dur subis une réduction sous l’action de la salinité.

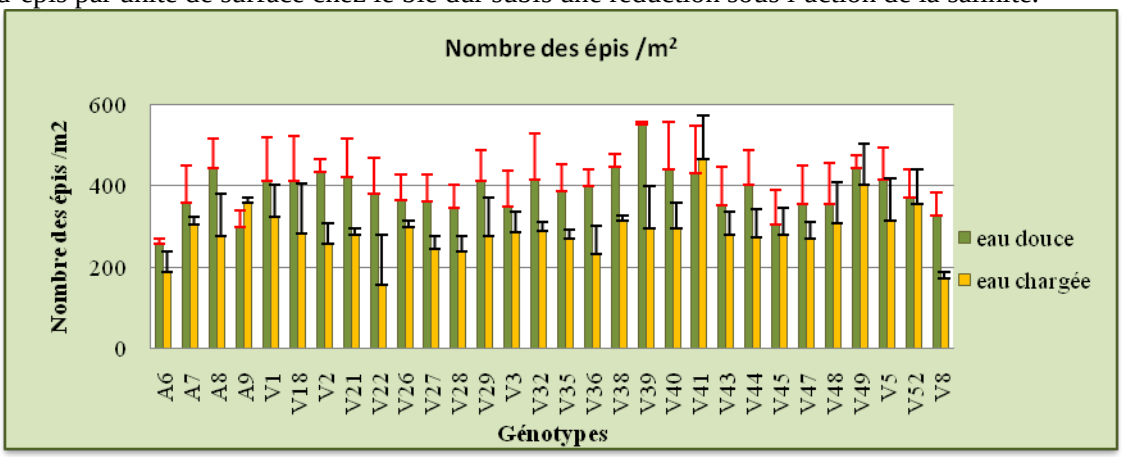

Nombre des épis /m²
Nombre des épis /m2
600
400
200
0
A6 A7 A8 A9 V1 V18 V2 V21 V22 V26 V27 V28 V29 V3 V32 V35 V36 V38 V39 V40 V41 V43 V44 V45 V47 V48 V49 V5 V52 V8
Génotypes
eau douce
eau chargée

Figure 2. Variation du nombre d’épis par mètre carré des différents génotypes étudiés en fonction des traitements.

L’analyse de variance a montré aussi que l’interaction traitement*génotype n’est pas significative. Ce paramètre ne semble être discriminant entre les génotypes tolérants et ceux sensible et ne devrait pas être utilisé pour le criblage de variétés tolérantes dans les conditions de plein champ dans un écosystème oasien. Ces résultats sont conformes avec celles trouvées par (Abbassenne *et al.*, 1997; Haraketi et al., 2009) qui affirment que les meilleurs rendements en grains chez le blé dur dans les conditions de stress sont dus à la capacité génétique à produire plus d'épis par unité de surface sans mentionner un effet significatif de l’interaction génotype*traitement.

3.1.2. Nombre de grains/épi

Le taux de réduction de ce paramètre est de l’ordre de 30 % en moyenne. On peut dire que c’est un caractère variétal qui dépend des génotypes et facteurs externes comme la salinité. Ces résultats sont confirmés par les travaux d’El Hendawy et al. (2007) qui ont prouvé que les paramètres de rendement sont affectés négativement chez le blé dur par la salinité. Thomson et al. (2009) ont trouvé ces mêmes résultats qui indiquent que la salinité diminue ce rendement en réduisant la fertilité de l’épi du blé. L’effet de l’interaction traitement*génotypes est significatif seulement au seuil de 5%. Ceci nous permet de déterminer les variétés les moins affectées (V38, A8, V41, V3 et A9) qui présentent des taux de réduction compris entre (-16% et 3 %) et les variétés les plus touchées par la salinité avec leurs taux de réduction dépassent le 50% (V22, V48, V29 et V47). Pour ce paramètre on note que certaine variétés améliorées sont très bien classées (Figure 3).

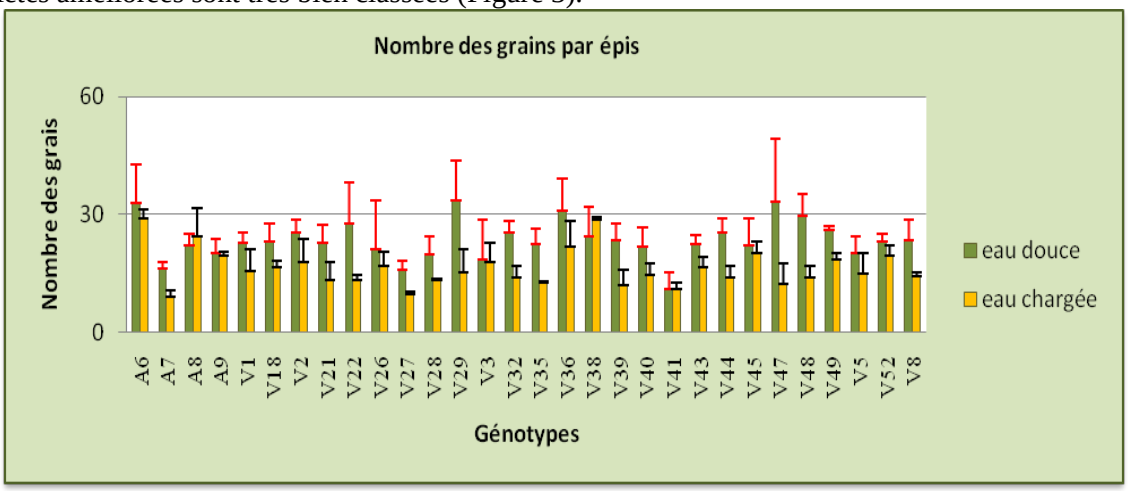

Nombre des grains par épis
Nombre des grais
60
30
0
A6 A7 A8 A9 V1 V18 V2 V21 V22 V26 V27 V28 V29 V3 V32 V35 V36 V38 V39 V40 V41 V43 V44 V45 V47 V48 V49 V5 V52 V8
Génotypes
eau douce
eau chargée

Figure 3. Variation du nombre de grains par épi des différents génotypes étudiés en fonction des traitements.

3.1.3. Le poids de mille grains (PMG*)*

Le PMG est généralement peu maîtrisable, car il est fortement lié aux effets de l’environnement au moment de la formation et du remplissage du grain, les stress environnementaux peuvent entraîner une diminution du PMG par altération de la vitesse et/ou de la durée de remplissage ce qui se traduit par l’échaudage des grains (Benbelkacem et Kellou, 2000; Oudjani, 2009).

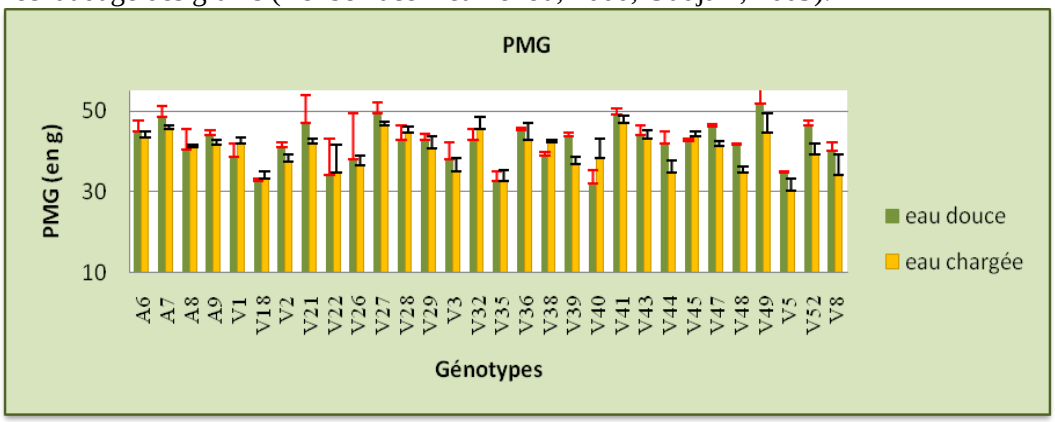

PMG
PMG (en g)
50
30
10
A6 A7 A8 A9 V1 V18 V2 V21 V22 V26 V27 V28 V29 V3 V32 V35 V36 V38 V39 V40 V41 V43 V44 V45 V47 V48 V49 V5 V52 V8
Génotypes
eau douce
eau chargée

Figure 3. Variation de poids de mille grains des différents génotypes étudiés en fonction des traitements.

La figure 3montre que les variétés V40, V38, V1, V32 et V28 ont un taux de réduction légèrement négatifs du PMG (à l’exception de V40 (-19%)) Cela implique que la quantité du sel n’a pas diminué le poids des grains. Pour les autres cas les différents génotypes ont subi une réduction de leurs PMG, ce qui pourrait être expliqué par les problèmes causés par la salinité au niveau de la remobilisation des réserves pendant la phase du remplissage (El Midouil et al 2007), donc la salinité affecte dans ces cas à la capacité des grains au stockage. V41, V27, A7et V49 présentent le PMG le plus important alors que V35 et V18 présentent le PMG le plus faible qui sont deux accessions allochtones.

3.1.4. Rendement en grain

Pour les témoins ce paramètre montre des fluctuations entre le 235 g/m^2 et 576 g/m^2 ces fluctuations existent aussi pour les stressés mais avec des extrémums moins élevés 83 g/m^2 et 380 g/m^2. L’analyse de cette composante du rendement est un outil pour tester l’effet du stress salin sur les différents génotypes qui abouti enfin au choix de variétés les plus adaptées et les plus performantes sous ces conditions. L’analyse de variance au seuil de 1% de ce paramètre a prouvé l’intervention significative du génotype, du traitement et de l’interaction traitement*génotypes dans la détermination un rendement en grain. Les génotypes les moins touchés par la salinité sont A9 et V41 avec leurs taux de réduction négatifs égales respectivement à (-7%) et (-4%). Par contre on trouve V44, V8, V29 et V39 avec des taux de réductions qui dépassent le 70% (Figure 4).

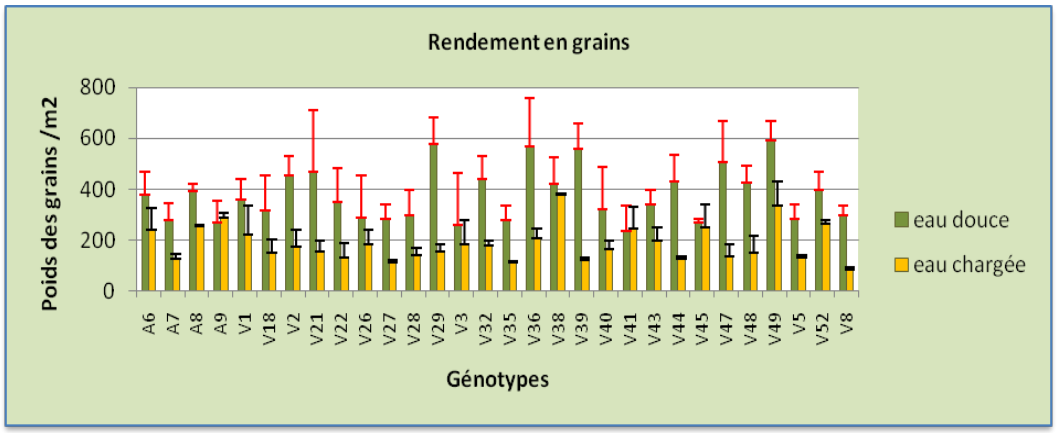

Rendement en grains
Poids des grains /m2
800
600
400
200
0
A6 A7 A8 A9 V1 V18 V2 V21 V22 V26 V27 V28 V29 V3 V32 V35 V36 V38 V39 V40 V41 V43 V44 V45 V47 V48 V49 V5 V52 V8
Génotypes
eau douce
eau chargée

Figure 4: Variation de rendement en grains des différents génotypes étudiés en fonction des traitements

3.1.5- Rendement biologique

Une analyse de variance au seuil de 1% a montrer que les variations de ce paramètre dépendent de génotypes, des traitement et de l’interaction capacité génétique× environnement. La figure 5montre une diminution de la biomasse élaborée au niveau de l’essai irrigué par l’eau chargée, de l’ordre de 47%. Ce paramètre montre que les variétés améliorées, sauf A9, sont mal classés. La variété A9 avec sont taux de réduction négatif (-5%) occupe la meilleur place de point de vue tolérance à la salinité malgré qu’elle ne présente pas le meilleur rendement biologique. Les variétés les plus touchées par la salinité sont V8, V36 et V39 avec des taux de réductions dépassants le 70%. La variété qui a donnée le plus grand RB en régime stressé est V49 alors que V8 a donné le rendement le plus médiocre. Ce paramètre peut être utilisé donc comme critère de sélection pour la tolérance à la salinité (Yufeng, 2007).

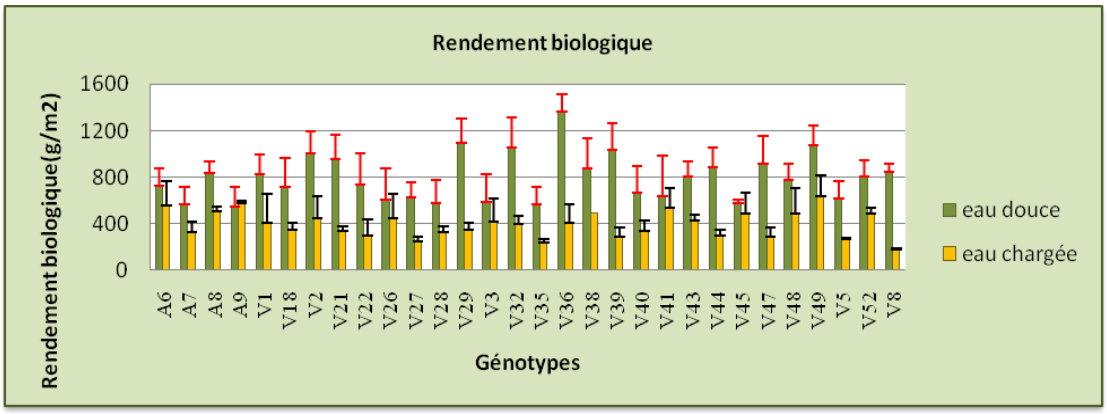

Rendement biologique
Rendement biologique(g/m2)
1600
1200
800
400
0
A6 A7 A8 A9 V1 V18 V2 V21 V22 V26 V27 V28 V29 V3 V32 V35 V36 V38 V39 V40 V41 V43 V44 V45 V47 V48 V49 V5 V52 V8
Génotypes
eau douce
eau chargée

Figure 5. Rendement biologique des différents génotypes pour les deux traitements

3.1.6. Rendement en paille

Une analyse de variance relative au rendement en paille a montré un effet hautement significatif au seuil de 1% des traitements, des génotypes et de l’interaction traitement*génotypes (Ben Naceur et al., 2001). Donc c’est un caractère variétal hautement influencé par les facteurs d’environnement. Les variétés A9, V48, V26, A6 ont montré un taux de réduction faible voir même négatif pour la variété A9. Donc la salinité n’a pas affecté le rendement en paille chez ces espèces au contraire des variétés V47, V44, V29, V21, V32, V38, V36, V8 et V 39 qui ont montré une réduction comprise entre 60 et 84%) et qui semble être non tolérants à la salinité (Figure 6).

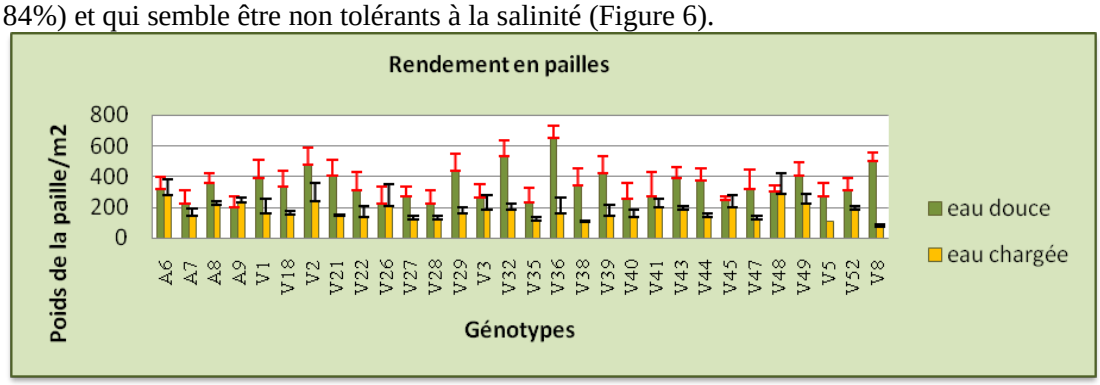

Rendement en pailles
Poids de la paille/m2
800
600
400
200
0
A6 A7 A8 A9 V1 V18 V2 V21 V22 V26 V27 V28 V29 V3 V32 V35 V36 V38 V39 V40 V41 V43 V44 V45 V47 V48 V49 V5 V52 V8
Génotypes
eau douce
eau chargée

Figure 6. Rendement en paille des différents génotypes pour les deux traitements.

Notre travail a permis de montrer que le stress salin a un effet dépressif sur la croissance et le développement de l’orge, avec des degrés variables selon le génotype (Tomoaki *et al.*, 2004). La salinité des eaux d’irrigation a causé la diminution des paramètres : RG, NE/m^2 et NG/m^2 chez toutes les variétés avec des taux de réductions variables sauf chez la variété améliorée A9 (Manel) et la variété locale V41 (Saudi) chez qui ces paramètres ont présenté des taux de réductions négatifs. Ainsi, nous avons constaté que ces deux variétés qui ne présentent pas de diminutions sont bien adaptées à la salinité malgré qu’elles ne présentent pas les meilleurs rendements en grains. Elles peuvent être exploitées dans un projet d’amélioration génétique de l’orge. Il ressort aussi, que les variétés

améliorées A6 (Rihane), A7 (Tej), A8 (knouz) sont sensibles au stress salin puis qu’elles n’arrivent pas à garder les mêmes rendements en grains, elles ont plus tôt présenté des taux de réductions élevés. Pour les paramètres cités précédemment (RG, NE et NG), les variétés V38 et V49 ont donné les meilleurs rendements sous stress salin, donc pour les agriculteurs qui cherchent le rendement en grain ces variétés semblent êtres les plus appropriés en cas d’irrigation avec l’eau chargée, sinon avec une eau douce les variétés V49, V39, V36 et V29 sont les plus performantes en terme de RG malgré qu’elles présentent les taux de réductions les plus élevés pour ce paramètre.
Dans notre cas la précocité ne semble pas être un critère de sélection pour tolérance. (Tester *et al*., 2003; Thomason *et al.,* 2009 ; Rady et *al.,* 2011) ont proposé que la sélection sera plus efficace lorsqu’on prend en compte la précocité comme un critère de tolérance associé avec un autre caractère de tolérance . Le taux de réduction du rendement en grain et du rendement en paille en fonction du rendement a montré les résultats suivants : (i) les variétés ayant les meilleurs rendements en grains (V47, V49, V29 et V36) ont les taux de réductions les plus importants et parmi les variétés qui donnent le rendement le plus faible on trouve celles qui donnent les taux de réductions les plus faibles donc les moins touchées par la salinité et qui sont (V41, V45, V3 et A9 (ii) les variétés ayant les meilleurs rendements en paille (V8, V38 et V36) ont des taux de réductions les plus élevés et inversement pour les variétés (A9,V26, A6 et V48) (iii) dans une position intermédiaire pour le RG vient la variété V49 qui présente un taux de réduction moyen et des valeurs de RG important, concernant le rendement en paille , occupe cette position la variété V2 avec des RP important et un faible taux de réduction.

3.2 Rendement en grain dans chez les agriculteurs

La variété améliorée Rihane a montré un rendement en grains relativement variable entre les agriculteurs. En effet, les rendements sont comparables chez les agriculteurs 2, 3, 4 et 5 avec un maximum de 42.3 Q/ha pour l’agriculteur 2. Par contre le rendement chez l’agriculteur 1 est de l’ordre 16.9 Q/ha (Figure 7). Il est très clair que la rendement chez Rihane a subit une forte réduction à une salinité de 9 g/l.

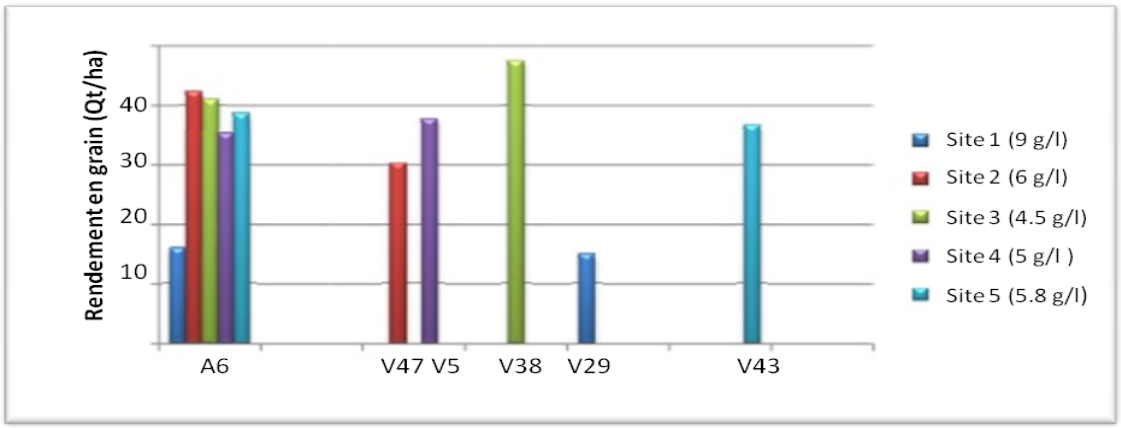


Figure 7.Estimation du rendement en grains (équivalent (Q/ha)) chez les agriculteurs

Le génotype CHK36 (V38) a montré un rendement en grains plus important que la variété témoin Rihane. En plus ? ce génotype peut être exploité en double exploitation car il a montré aussi une meilleure production de paille (Tableau 1). Les génotypes V47 et V29 chez l’agriculteur 2 (6.5 g/l) et l’agriculteur 1 (9 g/l),respectivement, ont montré un rendement en grains plus faible que celle de variété témoin Rihane. De même, les génotypes V5 et V43 ont montré un rendement similaire à Rihane. De cela, on peut dire que V38 a montré une bonne adaptation aux conditions hydrique et climatique de Djirid par rapport au Rihane et aux autres génotypes. Mais, cette adaptation est le meilleur seulement chez l’agriculteur 3 parrapport au témoin sous l’irrigation d’eau chargée de 4.5 g/l.

3.3 Rendement en paille chez les agriculteurs

De même pour la production de paille (Figure 8), on a enregistré une variabilité dans la production de paille pour Rihane chez les différents agriculteurs. La meilleur production de paille a été enregistré chez l’agriculteur 5 soit 914.23 g/m² par contre l’agriculteur 1 n’a enregistré que 140 g/m².

Généralement, les génotypes testés ont un rendement en paille plus important que la variété témoin à l’exception V47 et V5. Le génotype australien CHK36 a montré un rendement en paille important soit 1098.54 g/m² sous une eau chargé de 4.5 g/l.

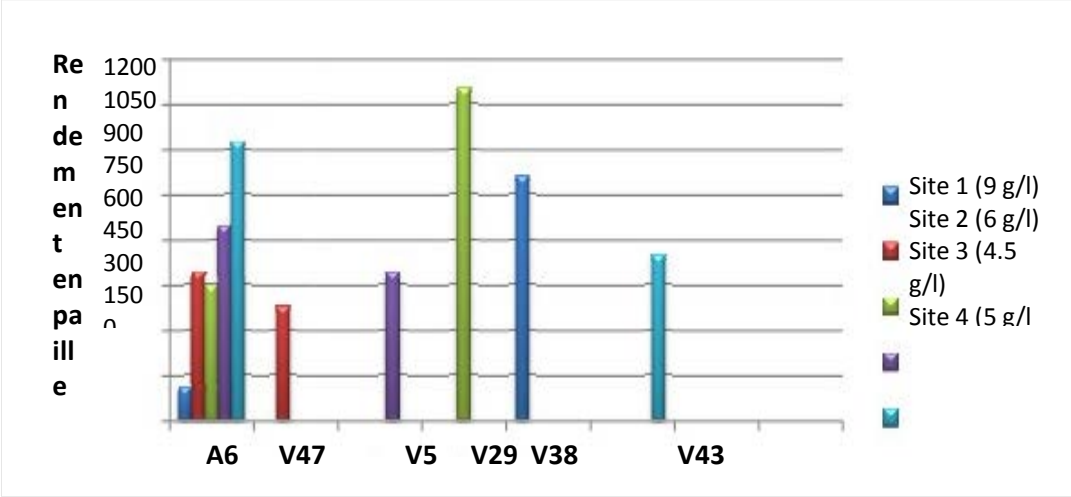


Figure 8. Estimation du rendement en paille (équivalent (g/m^2)) chez les agriculteurs

Tableau 2. Rendement en paille et en grains chez différents agriculteurs

Agriculteurs	Rihane rendement en grain (Qt/ha)	Rihane rendement en paille (g/m^2)	Accessions rendement en grain (Qt/ha)	Accessions rendement en paille(g/ m^2)
Site 1	16.9	140	15.75	798.12
Site 2	42.3	467.35	30	410.32
Site 3	40.85	449.96	48.57	1098.54
Site 4	36.25	625.85	38.25	465.85
Site 5	38.95	914.23	37.12	575.25

3.4 Analyse multi variée

L’analyse en composantes principales (ACP) permet une meilleure discrimination des variétés selon les variables utilisées pour la distinction. Ainsi, une ACP a été réalisé pour vérifier le classement précédant réalisé sur la moyenne des deux traitements. L’ACP présentée dans la figure 9, donne une estimation de la variabilité représentée par chaque axe.

En se limitant aux deux premiers axes, l’analyse en composantes principales montre que les deux axes (ACP1 et ACP2) représentent 70,35% de la variabilité totale. Le nombre des épis par m^2 (NE), le poids de milles grains (PMG), le rendement en grain (RG), le rendement biologique (RB), le rendement en paille(RP), la hauteur de la végétation (HZ69) et Le nombre de grains par épi (NGE) sont les paramètres qui discriminent le mieux les variétés étudiées. L’axe (ACP1) représente 49,13% de la variabilité totale.

Il représente une combinaison linéaire des paramètres RG, RB et RP. L’axe (ACP2) représente 21,22% de la variabilité totale, il est influencé par les valeurs NE, PMG, HZ69, NGE. Le rendement en grain et le rendement en paille semblent représenter les variables les plus importantes générées par cette ACP (Figure 9)**.**

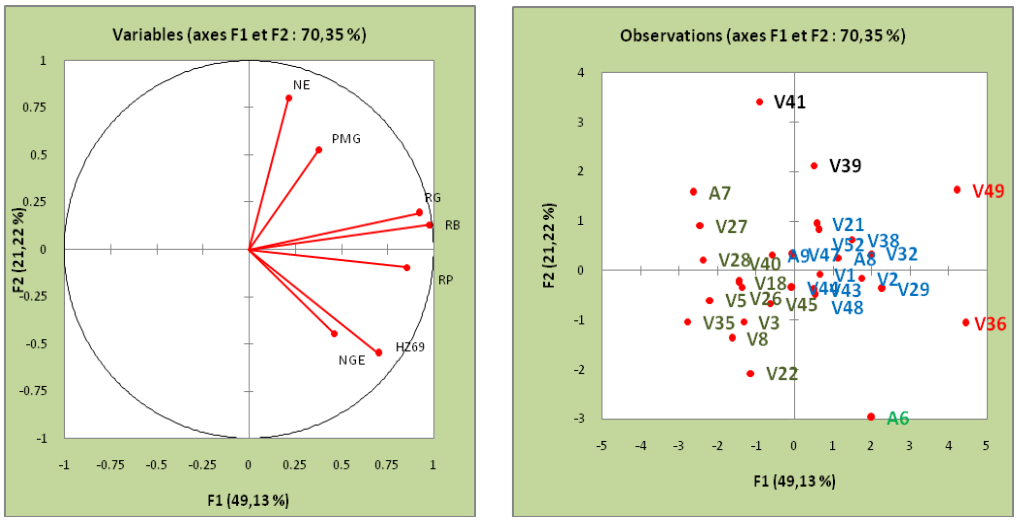


Figure 9. Analyse en composantes principales, à gauche : projection des variables sur les deux axes ACP1 et ACP2, à droite : répartition des variétés dans le plan des deux axes ACP1 et ACP2.

En tenant compte de la signification des axes, nous avons analysé la répartition des variétés dans le plan engendré par les deux axes ACP1 et ACP2. La distribution des individus montre l’existence de 5 groupes de variétés. Le premier groupe est formé de 7 accessions allochtones, 2 PK, 1 locale, 1 améliorée et 1 CHK ce groupe renferme les variétés ayants des valeurs faibles de tous les paramètres. Le deuxième groupe formé de 4 génotypes CHK, 3 améliorés, 2 PK, 2 locaux et 1 allochtone.
Ces variétés qui sont proches du centre de l’ACP sont caractérisées par des valeurs moyennes des paramètres mesurés. Le 3ème groupe formé des deux variétés V49 et V36 (toutes les deux CHK) présente les meilleurs RG, RB et RP donc semblent être le plus performants. Un quatrième groupe formé des deux variétés V41 et V39 ayants les meilleurs NE et PMG. Finalement la variété A6 présente le meilleur NGE.
Cette ACP montre que le RG est bien corrélé avec le RB par contre le plus le NE est élevé plus le NGE est faible.

3.5 Interaction Génotypes*Traitement

3.5.1 Régime sans stress salin

Les deux premiers facteurs sont les plus importants, et toutes les variables peuvent s’exprimer presque exactement comme une combinaison linéaire de ces facteurs puisqu’ils expliquent à eux seuls 70,22% de la variance des variables. La figure 10montre queL’axe (ACP1) représente 50,95% de la variabilité totale. Il représente une combinaison linéaire des paramètres RG, RB et RP. L’axe (ACP2) représente 19,27% de la variabilité totale liée aux caractères HZ69, NGE, NE et PMG.

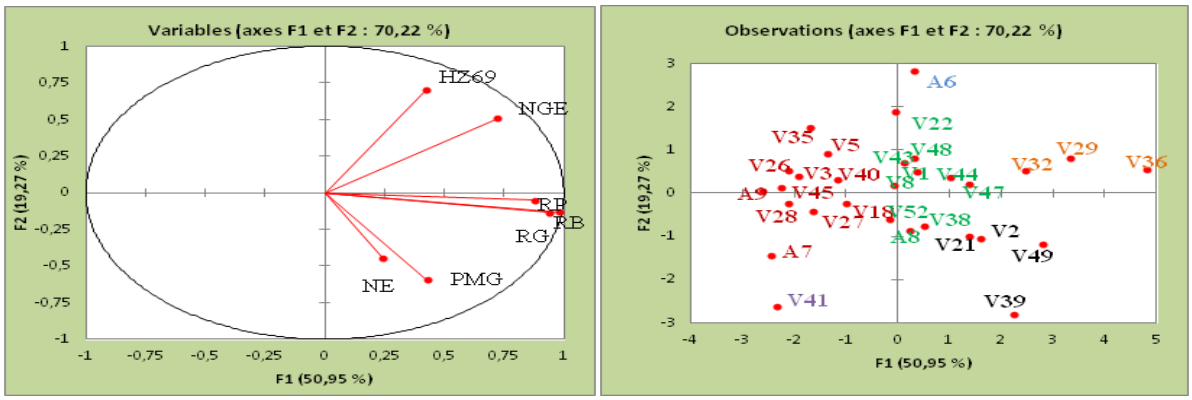


Figure 10 : Analyse en composantes principales (régime non stressé), à gauche : projection des variables sur les axes ACP1 et ACP2 ; à droite : répartition des variétés dans le plan des axes ACP1 et ACP2.

La distribution des individus montre l’existence de 6 groupes de variétés. Le premier groupe représenté en vert et est formé par les variétés qui sont proches du centre d’ACP, ces variétés présentent des valeurs moyennes de tous les paramètres, l’ensemble est formé de 5 accessions CHK, 2 accessions améliorées, une accession PK et une allochtone. A droite du graphique, un deuxième groupe qui semble être formé des variétés les plus performantes de point de vue RG, RP et RB. Il s’agit des 3 accessions V32 et V29 qui sont toutes les deux locales en plus de V36 (CHK). Par opposition de ce groupe on trouve le troisième groupe représenté en rouge, qui comprend les variétés ayant les plus faibles rendements pour tous les paramètres. A noter ce groupe est composé de deux accessions améliorées, cinq allochtones, une CHK, deux PK et une autochtone. Le quatrième groupe est représenté en noir il comporte des variétés ayant un faible NGE mais un PMG relativement fort. Ce groupe contient 2 génotypes CHK, 1 PK et 1allochtone. Sur le graphique on remarque les points n’appartenant à aucuns des groupes cités précédemment dont la variété A6 qui constitue à elle seule un groupe marqué par un NE et un PMG très faibles, NGE élevé et des valeurs moyenne pour les autres paramètres et dont aussi le point V41 en violet qui est caractérisé par un NGE très faible. Sur ce graphique on a remarqué qu’Il ya une forte corrélation entre RP, RB et RG, par contre NGE et PMG sont inversement opposés c.à.d. que les variétés ayants un NGE élevé ont un faible PMG et vice versa.

3.5.2 Régime avec Stress salin

Comme le montre lafigure 11les différentes variables sont bien représentées par les deux premiers facteurs qui expliquent 68,50% de la variance des variables. Le premier axe explique 51,80% de la variance du nuage de points. Comme l’ACP précédente cet axe représente une combinaison linéaire des paramètres RG, RB, RP et HZ69. L’axe (ACP2) représente 16,7% de la variabilité totale, il est influencé par les valeurs de NGE, NE et PMG. On a analysé la répartition des variétés dans le plan engendré par les deux axes ACP1 et ACP2 tout en tenant compte de la signification des axes. La distribution de nuage des points montre l’existence de 5 groupes de variétés. Le premier groupe, le plus grand coloré en vert est formé des variétés ayant les valeurs les plus médiocres des leurs paramètres. Ce groupe comprend une majorité de variétés allochtones (8 accessions), avec 3 variétés CHK, une locale, une améliorée et une PK. Le groupe coloré en rouge présente des variétés ayant un RG et un RB important, il est formé d’une variété améliorée A9 et d’une autre CHK. Un troisième groupe représenté par la couleur noire comprend les variétés qui ont des valeurs moyennes pour tous les paramètres. 5 accessions de ce groupe sont CHK, 3 PK, 2 améliorés, 1 locale et 1 allochtone. La variété A6 forme elle seule un groupe elle est caractérisée essentiellement par le meilleur NGE. Enfin la variété V41 forme aussi un groupe qui présente le meilleur NE. Dans cette ACP on a noté que le RP et la HZ69 sont très corrélés (Oudjani, 2009) , encore le RG et le RB sont parfaitement corrélés.

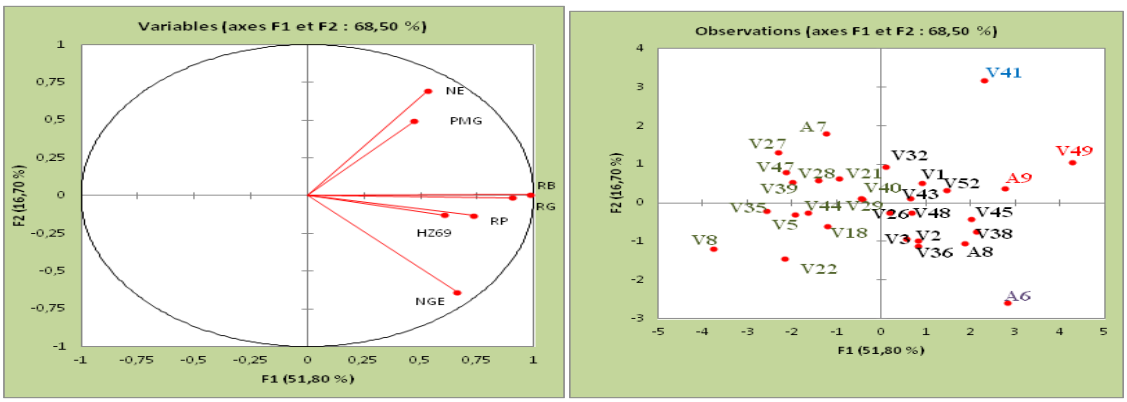


Figure 11. Analyse en composantes principales (régime stressé), à gauche : projection des variables sur les axes ACP1 et ACP2 ; à droite répartition des variétés dans le plan des axes ACP1 et ACP2.

4. CONCLUSION

Le but de notre travail est l’évaluation et la comparaison du comportement de 30 génotypes d’orge conduit sous deux traitements différents l’un irrigué avec de l’eau douce et l’autre irrigué avec de l’eau salée. Ces deux essais ont été réalisés dans le sud Tunisien dans un écosystème oasien. Notre travail a

permis de montrer que le stress salin a un effet dépressif sur la croissance et le développement de l’orge, avec des degrés variables selon le génotype. La salinité des eaux d’irrigation a causé la diminution des paramètres : RG, NE/m^2 et NG/m^2 chez toutes les variétés avec des taux de réductions variables sauf chez la variété améliorée A9 (Manel) et la variété locale V41 (Saudi) chez qui ces paramètres ont présenté des taux de réductions négatifs. Ainsi, nous avons constaté que ces deux variétés qui ne présentent pas de diminutions sont bien adaptées à la salinité malgré qu’elles ne présentent pas les meilleurs rendements en grains. Elles peuvent être exploitées dans un projet d’amélioration génétique de l’orge. Il ressort aussi, que les variétés améliorées A6 (Rihane), A7 (Tej), A8 (knouz) sont sensibles au stress salin puis qu’elles n’arrivent pas à garder les mêmes rendements en grains, elles ont plus tôt présenté des taux de réductions élevés. Pour les paramètres cités précédemment (RG, NE et NG), les variétés V38 et V49 ont donné les meilleurs rendements sous stress salin, donc pour les agriculteurs qui cherchent le rendement en grain ces variétés semblent êtres les plus appropriés en cas d’irrigation avec l’eau chargée, sinon avec une eau douce les variétés V49, V39, V36 et V29 sont les plus performantes en terme de RG malgré qu’elles présentent les taux de réductions les plus élevés pour ce paramètre.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Abbassenne F, Bouzerzour H, Hachemi L. (1997). Phénologie et production du Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops, *Ann Agro INA*, 18, 24-36.

-Benbelkacem S, Kellou D. (2000). Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur *(Triticum turgidum* L. var. *durum*) cultivées en Algérie : *CIHEAM –IAMZ*, pp, 105-110.

-Bennaceur M, Rahmoune C, Sdiri H, Meddahi ML, Selmi M. (2001). Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse*, 12, 167-174.

-El Midaoui1 M, Benbella M, Aït Houssa1 A, Maataoui A, Talouizte A. (2007). Reponse de quelques genotypes de tournesol (*Helianthus annuus L*.) au chloure de dodium. *Revue HTE*, 136, 41-46.

-El-Hendawy M, Hu SE, Schmidhalter U. (2005). Growth, ion content, gas exchange, and water relations of wheat genotypes differing in salt tolerances. CSIRO publishing, *Australian Journal of Agricultural Research*, 56, 123-134.

-El-Hendawy, SE.; Hu, Y.; Schmidhalter, U. (2007). Assessing the suitability of various physiological traits to screen wheat genotypes for salt tolerance. Journal of Integrative Plant Biology 49: 1352-1360 Blackwell verlag publishing

-Epstein E. (1980). Responses of plant to saline environments In Genetic Engineering of Osmoregulation : Impact on Plant Productivity for Food, Chemicals and Energy. Rains DW, Valentine RC, Hollaender A. eds. Plenum, New York and London, pp, 7-21.

-FAOSTAT, 2006. http://faostat.fao.org/

-Hameed A, Nasser Sh, Tahira I, Hina S, Ahsanul M. (2008). Effects of NaCl salinity on seedling growth, senescence, catalase and protease activities in two wheat genotypes differing in salt tolerance. Pack J, pp. 1043-1051.

-Haraketi (2009). tolerence a la salinité chez quelques génotupes d'orge (hordeeum vulgure). Mémoire de projet de fi d'etudes en sciences de la production végetale. INAT. Tunisie, 57 p.

-Munns R, Tester M. (2008). Mechanisms of salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, pp. 651–681.

-OECD (2004). Consencus Document On Compositional Considerations For New Varieties of Barley (*hordeum vulgare* L.): key food and feed nutrients and anti-nutrients. Environment Directorate Organisation for Economic Co-operation and Development , Paris, 256 p.

-Oudjani S. (2009). Diversité de 25 génotypes de blé dur (Triticum durum Desf.) : étude des caractères de production et d’adaptation. Mémoire de magistère en biologie végétale ; Université Mentouri de Constantine, Faculté des seciences de la vie et de la nature, Département biologie et écologie, 123 p.

-Rady D, Xuemei J, Richard A. Richards M. (2011). Abiotic stress and control of grain number in cereals. Plant Science. *Plant Sci*,181(4), 31-41.

-Shuji Y, Ray AB, Hasegawa PM. (2002). Salt Stress Tolerance of Plants.Centre for Environmental Stress Physiology. Purdure University.JIRCAS Working Report, pp, 25-33.

-TesterM, Baci A. (2005). Abiotic Stress Tolerance in Grasses. From Model Plants to Crop Plants *Plant Physiology*, 137, 791-793.

-Tester M, Davenport R. (2003). Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. *Ann. Bot*, 91, 503-527.
-Thomason W.E, Alley MM, Wysor E, Phillips SB, Parrish DJ. (2009). Using the Virginia Cooperative Extension Climate Analysis Web Tool to Better Manage and Predict Wheat Development. Agronomy, 45, 424-430.
-Tomoaki H, Schroeder J I. (2004). Sodium transporters in plant. Diverse genes and physiological functions. *Plant Physiology*, 136,2457-2462.
-Vinocur B, Altman A. (2005). Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. *Current Opinion in Biotechnology*, 1, 123-132.
-Wenxue Wei, Paul E. Bilsborrow, Paul Hooley, Daron A. Fincham, Enzo Lombi and Brian P, Forster M. (2003). Salinity induced differences in growth, ion distribution and partitioning in barley between the cultivar Maythorpe and its derived mutant Golden Promise. *Plant Soil*, 250,183–191.
-Yuefeng R. (2007). Tillering response to salinity in contrasting wheat cultivars. These de Doctorat en science naturelle, 92 p.

Le maïs (*Zea mays L.*) comme plante fourragère au sud tunisien ?

Leila Romdhane, Leila Radhouane
Laboratoire des Sciences et Techniques Agronomiques
Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie (INRAT),
Avenue Hédi Karray-2049-Ariana- Tunisie
Auteur Correspondant email : leila.romdhane@hotmail.fr

RESUME
Dans cette étude, nous avons cherché à tester sur le plan fourrager, une variété de maïs (*Zea mays L.)* réputée par son adaptation au manque d’eau et à la salinité. Les paramètres morphologiques et physiologiques mesurés concernent les parties vertes de la plante qui seront exploitées par le bétail tel le nombre et les dimensions des feuilles, la hauteur de la tige principale, le nombre de talles et la teneur en chlorophylle.
Les résultats ont montré que le stress hydrique sévère a réduit aussi bien les paramètres végétatifs que physiologiques sauf le nombre de feuilles qui a enregistré une augmentation significative. Par contre, le stress hydrique modéré n’a pas touché ni au nombre ni aux dimensions des feuilles et a conservé la teneur en chlorophylle. Cependant, il a raccourci les tiges.
Pour la salinité aussi bien sévère que modérée, un effet stimulateur a été constaté pour tous les paramètres sauf pour la hauteur de la tige qui a tendance à se rabougrir avec l’augmentation de la charge en sel. De tels résultats permettent d’envisager la culture fourragère du maïs dans les conditions arides du sud tunisien, d’exploiter les eaux chargées et aussi de réduire les doses d’irrigation sans conséquences notables sur le rendement en vert.
Mots-clés *:* Maïs, Fourrage, Salinité, Sécheresse, Sud tunisien.

SUMMARY
In this study, we sought to test the feed level, a variety of maize (Zea mays L.) known by its adaptation to deficit water and salinity. Morphological and physiological parameters measured concern the green parts of the plant that will be used by livestock such as the number and size of leaves, height of the main stem, tiller number and chlorophyll content. The results showed that the severe water stress reduced both vegetative and physiological parameters except number of leaves showed a significant increase. But, the moderate water stress did not affect either the number or the size of the leaves and retained chlorophyll. However, it shortened stems. For salinity as well as moderately or severe, a stimulatory effect was found for all the parameters except for the height of the stem which tends to become stunted with increasing salt loadings. These results allow to consider forage maize in arid conditions of southern of Tunisia, to exploit sewage and also to reduce irrigation doses without significant impact on performance in green yields.
Keywords: Maize, forage, water- stress, salinity, southern of Tunisia.

1. INTRODUCTION

La Tunisie, comme tous les pays de la méditerranée, a subi les effets du changement climatique se traduisant essentiellement par la diminution des précipitations et l’accroissement des risques de sècheresse. Elle est classée parmi les pays menacés par le problème de manque d’eau et par la salinisation du sol (Cheikh M’hamed, 2008; Radhouane, 2013) . En effet, 70% des surfaces irriguées reçoivent des eaux dont la salinité est supérieure à 1.5g/l et les eaux considérées comme saumâtres titrant entre 2 et 6 g/l de Na Cl constituent 50% des eaux (Hachicha, 2007; Radhouane, 2013). Or, lorsque la plante est soumise à un manque d’eau ou lorsqu’elle est en présence de salinité, son alimentation hydrique et sa nutrition minérale sont perturbées (Radhouane, 2013). Malgré cette contrainte, de nombreux fourrages ont été irrigués avec succès à l'eau saline sans aucun problème notable (Kadri et al., 2009). De ce fait, il est nécessaire de rechercher des plantes ayant des prédispositions naturelles leur permettant de supporter les conditions difficiles du milieu, de rétablir leurs équilibre ionique et nutritionnel pour leurs survie, en développant des stratégies spécifiques d’ordre adaptatif ou occasionnel (Radhouane, 2008), de satisfaire les besoins alimentaires de l’homme ou du cheptel et aussi de générer des gains monétaires. Dans cette optique, nous avons cherché à tester sur le plan fourrager, une variété de maïs (*Zea mays L.)* réputée par son adaptation au manque d’eau et

à la salinité (Hammami, 2008; Lepengue et al, 2010). Les besoins en eau du maïs sont parmi les plus élevés mais son coefficient d'évaporation est l'un des plus faibles (San et al.,1999; Hammami et al. 2008). C'est aussi une des cultures les moins conductrices ou échangeuses d'eau. Ces besoins hydriques varient en fonction de la précocité, de la demande climatique, de la variété, du calendrier de l'irrigation et du stade de récolte (Hammami et al., 2008). Les fortes consommations en eau du maïs correspondent à la période allant de la floraison au début de la formation des grains (Hammami et al. 2008; Farré et al.2009).
L'objectif de ce travail consiste à évaluer aussi bien l'aspect qualitatif que quantitatif des parties vertes de la plante qui seront exploitées par le bétail tel le nombre et les dimensions des feuilles, la hauteur de la tige principale, le nombre de talles et la teneur en chlorophylle.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel végétal

L'essai a porté sur une variété française de maïs (Naudi) connue par sa résistance au déficit hydrique et salin.

2.2. Protocole expérimental

Les essais ont été conduits en plein champ sous un climat semi aride, à hivers doux. Les semis ont été réalisés le 17 mai 2012 à la station expérimental de l'INRAT (altitude : 10 m; latitude: 36°51'; longitude : 10°11'). Le sol est d'apport alluvial ; il est profond, homogène et de texture argileuse, avec une teneur en éléments fins>70%. Les propriétés physiques et chimiques du sol de l'INRAT sont illustrées dans le tableau 1.

Tableau 1. Les propriétés physiques, chimiques et hydriques du sol de l'INRAT (Radhouane, 2008)

Propriétés physiques (% de matière sèche)	Composition chimique (%)	Caractéristiques hydriques (%)
Argile = 16	Calcaire actif = 13	C.C. = 22
Limon fin = 19	Azote total = 0,08	P.F.P. = 18
Limon grossier = 14	P2O5 total = 4	R.E.U. = 4
Sable fin = 27	P2O5 assimilable = 0,01	
Sable grossier = 20	K2O total = 3,87	
	K2O assimilable = 0,94	
	pH = 8,2	

C.C. = capacité au champ ; P.F.P. = point de flétrissement permanent ; R.E.U. = réserve en eau utile.

L'essai a été réalisé sur un terrain grillagé subdivisé en 2 grandes parcelles représentant les traitements en jeu : la première parcelle pour les essais relatifs au stress hydrique et la seconde pour les essais concernant les traitements salins.
Les traitements sont espacés de 3m et sont entourés dans toutes les directions de lignes de bordures. Le dispositif statistique expérimental est du type BCA (bloc complètement aléatoire) à 3 répétitions.
Chaque répétition est subdivisée en 3 parcelles élémentaires de 2 m^2 de superficie. La densité de semis est de 25 plantes par parcelle. L'eau d'irrigation utilisée est celle courante, titrant 1g/l de Na Cl.
Pour réaliser le stress hydrique, nous avons adopté un dispositif permettant d'apporter la dose d'eau souhaitée. Les besoins théoriques en eau du maïs sont estimés à 600 mm (San et al. 1999) (ETM = 100%).
Pour le stress hydrique, les traitements qui sont appliqués sont :
T_0 : témoin irrigué à 100% ETM
T_{70} : traitement recevant 70% ETM.
T_{35} : traitement irrigué à 35% ETM.
(ETM= 600 mm et la charge en sel est de 1g/l= eau de robinet)
Les traitements appliqués pour le stress salin sont:
T_0 : témoin irrigué à l'eau de robinet titrant 1g/l
T_3 : traitement T0 + 2g/l pour avoir une concentration de 3g/l.
T_6 : traitement T0 + 5g/l pour avoir une concentration de 6g/l.

Chaque stress a été réalisé à part et les données sont complètement indépendantes l'une de l'autre.

L’eau d’irrigation est délivrée aux parcelles par submersion. Les parcelles ont reçu 2 pré- irrigation (du semis jusqu’au stade 4 feuille, date de la différentiation des traitements). Après, elles sont irriguées tous les 10 jours et une fois par semaine dès le début de la floraison.
Les essais de stress salin reçoivent tous la même quantité d’eau et ne diffèrent que par la quantité de Na Cl additionnée à l’eau d’irrigation.

2.3. Mesure des paramètres morphologiques
Toutes les mesures morphologiques sont réalisées au stade maturité.
hauteur de la tige principale (HAT), en cm, est déterminée à l’aide d’une règle graduée
comptage du nombre des feuilles (NFT)
longueur (LOD) et largeur (LAD) de la feuille drapeau en cm, est faite à l’aide d’une règle graduée.

2.4. Mesure des paramètres physiologiques
La détermination de la teneur en chlorophylle est réalisée par l’indice chlorophyllien (ICH) à l’aide du S.P.A.D ou Chlorophyll Meter.

2.5. Analyse statistique
Toutes les mesures ont été répétées trois fois. Les résultats ont été soumis à une analyse de la variance à un facteur et les moyennes ont été comparées selon la méthode de Newman et Keuls. Chaque moyenne est affectée d’une lettre. Les moyennes suivies d’une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de probabilité 5 %.

3. RESULTATS ET DISCUSSION
3.1. Effet du stress sur la hauteur de la tige (HAT)
Qu'il soit hydrique ou salin, le stress a agi négativement sur la hauteur de la plante en raccourcissant la tige. Cependant, l'effet de la contrainte hydrique est plus important que celui de la salinité. En effet, les réductions de la hauteur sont d’environ 36 % pour T_{35} et de 23% pour T_{70} (Tableau 2); alors que sous l'action du sel, ces diminutions sont de 26% et 16%, respectivement pour la salinité sévère et celle modérée. L'effet dépressif du manque d'eau sur la hauteur des plantes a été signalé sur de nombreuses cultures notamment sur les céréales du type C_4 (Radhouane, 2008) et particulièrement sur le maïs (Cakir, 2004 ; Farré et al. 2009 ; Aydinsakir et al., 2013). De même, l'exposition de la majorité des plantes aux sels, les rend vulnérables et diminue leur croissance (Kadri, 2009; Ben Naceur et al., 2001). Cette détérioration serait due au stress hydrique, à la toxicité des ions, à la perturbation de l'équilibre ionique ou à la combinaison de tous ces facteurs (Kurt et al., 1986).

Tableau 2. Effet de la contrainte hydrique sur les différents paramètres mesurés**.**

Traitements	Hauteur de la tige (HAT)	Nombre de feuilles (NFT)	Longueur de la feuille drapeau (LOD)	Largeur de la feuille drapeau (LAD)	Indice chlorophyllien (ICH)
T_0	147,81^{a}	11,25^{b}	25,27^{a}	3,43^{a}	35,89^{a}
T_{70}	113,62^{b}	11,18^{b}	21,63^{a}	3,34^{a}	34,21^{ab}
T_{35}	95,28^{c}	12,28^{a}	15,78^{b}	2,30^{b}	32,32^{b}

HAT= hauteur en cm; NFT= nombre de feuilles par plante; LOD= longueur de la feuille drapeau en cm ;
LAD= largeur de la feuille drapeau en cm; ICH= teneur en chlorophylle par Spad

3.2. Effet du stress sur le nombre des feuilles (NFT)
Le stress hydrique modéré (T_{70}) n’a pas touché au nombre de feuilles par plante (Tableau 2); alors que le stress hydrique sévère ainsi que le stress salin (toutes concentrations en sel confondues) ont légèrement augmenté ce nombre (Tableau 3).
La stimulation de la croissance par la salinité trouve son explication dans l’effet bénéfique de Na^+ sur l’expansion cellulaire (Marschner, 1995) et par une meilleure compartimentation vacuolaire efficace de Na^+ (Cheesman, 1988).

Tableau 3. Effet de la contrainte saline sur les différents paramètres mesurés.

Traitements	Hauteur de la tige (HAT)	Nombre de feuilles (NFT)	Longueur de la feuille drapeau (LOD)	Largeur de la feuille drapeau (LAD)	Indice chlorophyllien (ICH)
T_0	$147,81^{a}$	$11,25^{b}$	$25,27^{b}$	$3,43^{b}$	$35,89^{b}$
T_3	$124,06^{b}$	$11,81^{a}$	$30,46^{a}$	$4,18^{a}$	$39,50^{a}$
T_6	$109,18^{c}$	$11,65^{a}$	$24,43^{b}$	$3,61^{b}$	$35,70^{b}$

HAT= hauteur en cm; NFT= nombre de feuilles par plante; LOD= longueur de la feuille drapeau en cm ;
LAD= largeur de la feuille drapeau en cm; ICH= teneur en chlorophylle par Spad

3.3. Effet du stress sur la longueur (LOD) et la largeur (LAD) de la feuille drapeau

Seul le stress hydrique sévère a modifié les feuilles en les rendant plus petites et moins larges (Tableau 2). Lorsque le maïs est irrigué avec de l'eau saumâtre dont la charge en sel est de 3g/l, ses feuilles gagnent en longueur et en largeur. Ce gain est d'environ 20% en longueur et 15% en largeur. L'effet négatif du stress hydrique sur les dimensions des feuilles du maïs a été cité par Hassan et al. (2013).
La stimulation de la croissance foliaire par la dose modérée en sels a été déjà signalée chez les plantes en C_4 dont le Pennisetum (Muscolo et al. 2003) et le sorgho (Netondo et al., 2004).

3.4. Effet du stress sur l’indice chlorophyllien (ICH)

Lorsque le maïs est soumis à un régime très restrictif en eau, son indice chlorophyllien baisse d'environ 12%. Cette diminution serait due soit à une inhibition de la synthèse (Stobart et al., 1985) soit à une dégradation des pigments suite à une augmentation de l’activité des enzymes hydrolytiques (Santos, 2004). En revanche, le stress hydrique modéré n'a pas touché à la teneur en chlorophylle. Ce résultat est corroboré par Cakir (2004) et Hassan et al. (2013). Pour les traitements salins, seule la dose modérée en sel a amélioré le taux chlorophyllien. Le traitement T_6 n'a eu aucun effet significatif (Tableau 3). Ce résultat caractérise les plantes en C_4 qui semblent apprécier les salinités modérées. En effet, l’amélioration de la richesse chlorophyllienne en présence de sel a été mentionnée par Folkard et al. (2003) et Lepengue et al. (2012) . Elle serait due à une activation de la chlorophyllase (Santos, 2004).

4. CONCLUSION

Notre étude a montréque le stress hydrique sévère a augment**é** significativement le nombre des feuilles par plante, a réduit les dimensions de la feuille drapeau. Par contre, le stress modéré n’a pas touchéau nombre des feuilles par plante, n’a pas modifié les dimensions de la feuille drapeau mais a raccourci la hauteur de la tige principale et a diminué la teneur en chlorophylle. Quant à la contrainte saline modérée, elle a engendr**é** des feuilles plus nombreuses et plus développées, a raccourci la hauteur de la tige et a augmenté la teneur en chlorophylle. Ces résultats permettent de valoriser les sols salés et les eaux saumâtres au sud de la Tunisie pour la production fourragère du maïs réputé par sa fragilité aux contraintes hydriques et salines.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Aydinsakir K, Erdal S, Buyuktas D, Bastug R,Toker R. (2013). The influence of regular deficit irrigation applications on water use, yield, and quality components of two corn (*Zea mays L.*) genotypes. Agricultural water Management, 128, 65-71.
-Ben Naceur M, Rahmoune C, Sdiri H, Meddahi ML, Selmi M. (2001). Effet du stress salin sur la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse*,12, 167-174.
-Cairns JE, Sonder KP, Zaidi H, Verhulst N, Mahuku G, Babu, R, Nair SK, Das B, Govaerts B, Vinayan MT, Rashid Z, Noor JJ, Devi P, San Vicente F, Prasanna BM. (2013). Maize Production in a Changing Climate: Impacts, Adaptation, and Mitigation Strategies. In Donald Sparks, Academic press, pp.1-58.
-Cakir R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn, Field Crops Res., 89, 1-16.
-Cheesman JM. (1988). Mechanisms of salinity tolerance in plants. Plant Physiol., 87, 547-550.
-Cheikh M’Hamed H, Abdellaoui R, Kadri K, BenNaceur K, BelHadj S. (2008). Evaluation de la tolérance au stress salin de quelques accessions d’orge (*Hordeum Vulgare L.*) cultives en Tunisie : Approche physiologique, Sciences et Technologie, 30-37.

-Dominguez A, De Juan, JA, Tarjuolo JM, Martinez-Romero RS. (2012). Determination of optimal regulated deficit irrigation strategies for maize in a semi-arid environment. Agricultural Water Management, 110, 67-77.
-Farré I, Faci JM. (2009) . Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment.Agricultural water management, 96, 383-394.
-Hachicha M. (2007). Les sols salés et leur mise en valeur en Tunisie. Sècheresse, 18(1), 121-140.
-Hammami A, El Masri A, Bouaziz A, Kuper M. (2008) .Valorisation de l’eau souterraine par les cultures fourragères dans le périmètre irrigué du Tadla, Maroc. Economies d’eau en systèmes irrigués au Maghreb. Actes du quatrième atelier régional du projet Sirma, Mostaganem, Algérie, 26-28 mai 2008. Cirad, Montpellier, France, colloques-cédérom. pp 1-10.
-Hassan M, Qayyum A, Razzaq A, Muhammad A, Imran M, Khan SU, Jenks MA. (2013). Evaluation of Maize Cultivars for Drought Tolerance Based on Physiological Traits Associated with Cell Wall Plasticity. Jokull J., 63(7), 466-478.
-Kadri K, Maalam, S, Cheikh MH, Ben abdallah, A, Rahmoune C, Ben Naceur M. (2009). Effet du stress salin sur la germination, La croissance et la production en grains de quelques accessions Tunisiennes d’orge (*Hordeum Vulgare L.)*, Sciences et Technologie, 29, 72-79.
-Kurth E, Cramer GR, Lauchli A, Epstein E. (1986). Effects of NaCl and CaCl2 on cell enlargement and cell production in cotton roots. Plant Physiol., 82, 1102–1106.
-Lepengue AN, Mouaragadja I, M’Batchi B, Aké S 2010 . Effet de chlorure de sodium (Na Cl) sur la germination et la croissance du maïs (*Zea mays L*). Poaceae au Gabon. Int. J. Biol. Chem. Sci., 4 (5), 1602-1609.
-Lepengue A, Isaac M, Brahma I, Severin A, M’Batchi B. (2012). Réponse du maïs (*Zea mays var. LG 60*) au stress salin. Etude de la synthèse de quelques composes biochimiques. Journal of Animal et plant Sciences, 14(1), 1866-1872.
-Marschner H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academics Press, San Diego, CA, 423pp.
-Muscolo A, Panuccio MR, Sidari M. (2003). Effects of salinity on growth, carbohydrate metabolism and nuttritive properties of Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum Hochst*). Plant Sci., 164, 1103-1110.
-Netondo GW, Onyango JC, Beck E, 2004. Sorghum and salinity. I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. Crop Sci., 44(3), 797-805.
-Radhouane L. (2008). Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains chez quelques écotypes de mil (Pennisetum glaucum (L.) R.Br.) autochtones de Tunisie, C.R. Biologies, 331, 278-286.
-Radhouane L. (2008). Caractéristiques hydriques du mil (*Pennisetum glaucum (L.)R.Br*.) en présence de contraintes hydriques, C.R. Biologies, 331, 206-214.
-Radhouane L. (2013) .Comparaison de la nutrition minérale du mil (Pennisetum *glaucum L.R. Br*.) en présence de stress hydrique et de stress salin. J. of Applied Biosciences, 66, 5114-5129.
-San B, djendole SN, Diouf OH, Macauley R. (1999). Suivi de l'état hydrique du sol et de la température du couvert de maïs au Sénégal. Science et changements Planétaire. Sécheresse, 10 (2), 1-29.
-Santos CV. (2004). Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulturae*, 103, 93-99.
-Stobart A, Griffiths W, Bukhari A, Sherwood R. (1985). The effect of Cd^{2+} on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley. Physiologia Plantarum, 63, 293-298.

Effet du stress salin sur le comportement morphologique de quelques variétés acclimatées de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

*Nessrine SOUIDI et Ali FERCHICHI
Laboratoire d’Aridocultures et Cultures Oasiennes, Institut des Régions Arides
Médenine*Mail:souidinessrine@yahoo.fr

1-INTRODUCTION

En Tunisie, l'aridité est une caractéristique permanente du climat, définie par un déficit pluviométrique structurel par rapport aux besoins en eau de la végétation naturelle et cultivée. En plus de la sécheresse, la salinité de l’eau qui est l’un des principaux catalyseurs de la désertification et compte parmi les principaux facteurs qui affecte profondément les milieux (sols, végétation, et de biomasse…) et limitent la productivité végétale (Flowers, 2004).

En effet, la salinité touche environ 397 millions d’hectares dans le monde, dont 39 millions sont situés en Afrique (FAO). La Tunisie est aussi concernée par le problème de la salinité. Environ 1,8 millions d’hectares, qui présentent 11,6 % de la surface totale du pays sont touchés par la salinité surtout dans le sud Tunisien (FAO, 2005). Dans les régions arides et semi-arides, la salinité des eaux et des sols est parmi les principaux facteurs limitant la productivité végétale (Ferchichi, 1997). Donc les cultures irriguées dans le sud tunisien sont soumises à la contrainte de la salinité de l’eau d’irrigation. Le stress salin a un grand effet sur le développement des plantes en affectant leurs aspects morphologiques et physiologiques.

De ce fait, ces changements imposent la réflexion sur les stratégies à entreprendre pour comprendre les mécanismes mis en jeu par les plantes afin de s’adapter aux nouvelles conditions de l’environnement et de maintenir leur croissance et leur productivité (Belkhodja et Bidai ,2004).

Parmi les espèces végétales cultivées dans les régions arides et semi arides, on cite la tomate.

La tomate cultivée (*Lycopersicon esculentum* Mill.) qui, est encore cultivée par des variétés acclimatées dans certaines régions du pays, est sensible au niveau moyen de la salinité (Maas, 1986) mais avec une variabilité intraspécifique (Taha et *al*, 2000). Elle présente le comportement d’un glycophyte typique.

C’est dans ce cadre, s’inscrit le présent travail qui a pour objectif d’étudier l’effet du stress salin sur les comportements morphologiques de quelques variétés acclimatées de tomate.

2-MATERIEL ET METHODES

Le présent travail s’intéresse à l’étude de l’effet du stress salin sur le comportement morphologique de quelques variétés acclimatées de tomate.

1. Matériel végétal

Trois variétés acclimatées de tomate (Solanum *lycopersicon*) et une variété de référence (variété Amel) ont été étudiées dans ce travail. Les variétés acclimatées dont les semences ont été fournies par le Laboratoire d’Aridoculture et Cultures Oasiennes de l’IRA proviennent des zones de collecte des semences suivantes :

*La région de Sfax d’où proviennent les deux variétés Tom1 et Tom2 se caractérise par une pluviométrie faible de l’ordre de 150 à 200 mm et une ETP élevée.

*La région de Bizerte d’où proviennent la variété Tom4 est une zone très arrosée, elle se caractérise par un climat sub-humide à hiver pluvieux.

Variété Amel est une variété hybride F1 de tomate destinée à l’export et au marché local, elle a apporté depuis quelques années, une nouvelle dynamique à l’ensemble du secteur des semences hybrides de tomate destinées à la serriculture. Elle est caractérisée par sa forme ronde, sa croissance indéterminée et utilisée pour les cultures de primeur et d’arrière-saison.

2. Conduite de la culture

L'expérimentation a été réalisée au cours de l'année 2009/2010, sous serre vitrée à l'IRA (Institut de Régions Arides), située à 22,5 km au Nord- Est de la ville de Médenine. Cette région est située dans l’étage bioclimatique aride inférieur caractérisé par :

- ✓ une pluviométrie annuelle faible, de l’ordre de 150 mm/an ;
- ✓ des températures assez fortes ;
- ✓ des vents fréquents.

2.1. Caractéristiques pédoclimatiques

Le substrat utilisé est un sol profond (sableux limoneux) fertilisé par du fumier bien décomposé.
Il présente les caractéristiques suivantes :

- conductivité électrique (ms/m) : 3,9-5,51 ;
- pH : 7,5- 7,6 ;
- calcaire total (%) : 8-15 ;
- calcaire actif (%) : 2,5-10,5 ; et 26
- gypse (%) : 0,1-2.

2.2. L'eau d'irrigation

L'eau utilisée pour l'irrigation est l’eau de pluie, titrant un pH de 7,71 à T=25°C et de conductivité électrique de 845uS/cm à T=26°C et de salinité égale 0,5 g/l.

2-3-Mise en culture

Les semis des grains de *tomate*, de variétés testées, ont été réalisés dans des pots remplis de sol, avec 5 répétitions pour chaque variété.
Les pots sont placés sous serre vitrée à une température fixe égale à 26°C et à l’éclairement naturel (photopériode : 10 heures).
Les semis ont été effectués en avril. 15 pots en plastique pour chaque variété, ont été remplis par 5 kg d’un mélange de sol sec (90%) et de fumier (10%). La profondeur de semis est de 2 cm et à raison de 5 graines par pot.
Après vingt jours de la transplantation (stade de la 4ième vraie feuille), un stress salin est appliqué avec 3 traitements pour chaque variété:
-Les 5 premiers pots : témoin 0g/l T1
-Les autres 5 pots : 5g/l T2
-Les 5 derniers pots : 9g/l T3

La fertilisation des plantes a été assurée selon un programme de fertigation tenant compte des besoins selon les stades végétatifs. En moyenne, dans 1m3 d’eau, 250g d’ammonitre (NH4NO3), 400g de nitrate de potassium (KNO3) et 100 ml d’acide phosphorique (H2PO4) concentré à 50% sont incorporés.

3. Les paramètres étudiés

3.1. Les paramètres morphologiques

3.1.1. La hauteur de la partie aérienne

La hauteur de la partie aérienne (la longueur de la tige principale) a été mesurée à l’aide d’une règle graduée depuis le collet jusqu’au bourgeon terminal de la tige principale.

3.1.2. Le nombre des feuilles

Le nombre des feuilles est déterminé par simple comptage.

3-RESULTATS ET DISCUSSIONS

Effet du stress salin sur les paramètres morphologiques

1. Effet du stress salin sur la hauteur (longueur de la tige principale) de la plante de tomate

L’évolution de la hauteur des plantes de variétés de tomate soumises à trois régimes salins est illustrée dans la figure suivante.

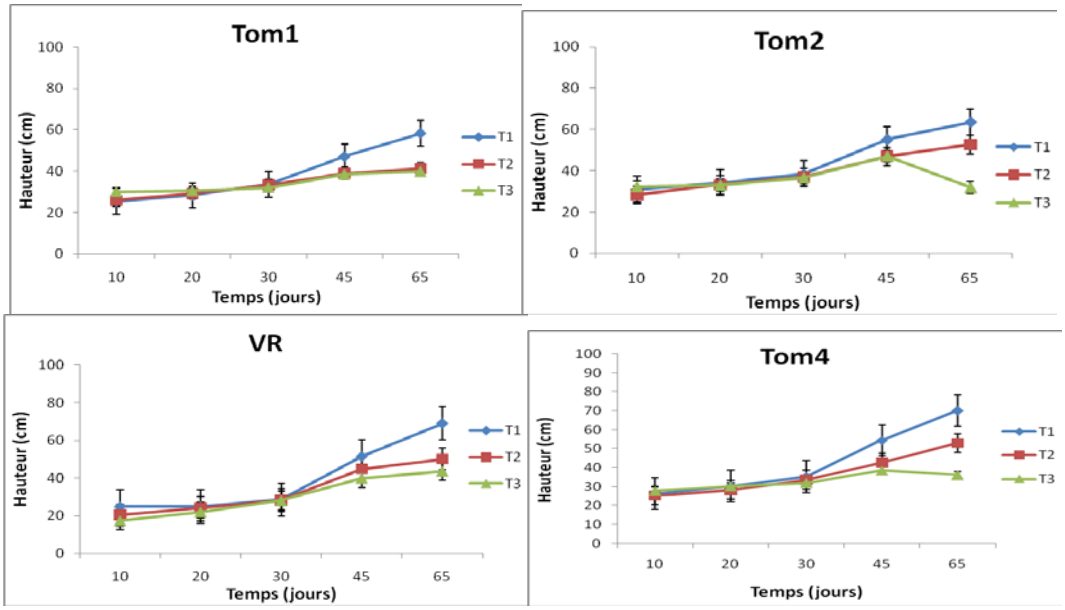


Figure1. Effet de stress salin sur la hauteur moyenne de la plante des variétés de tomates étudiées

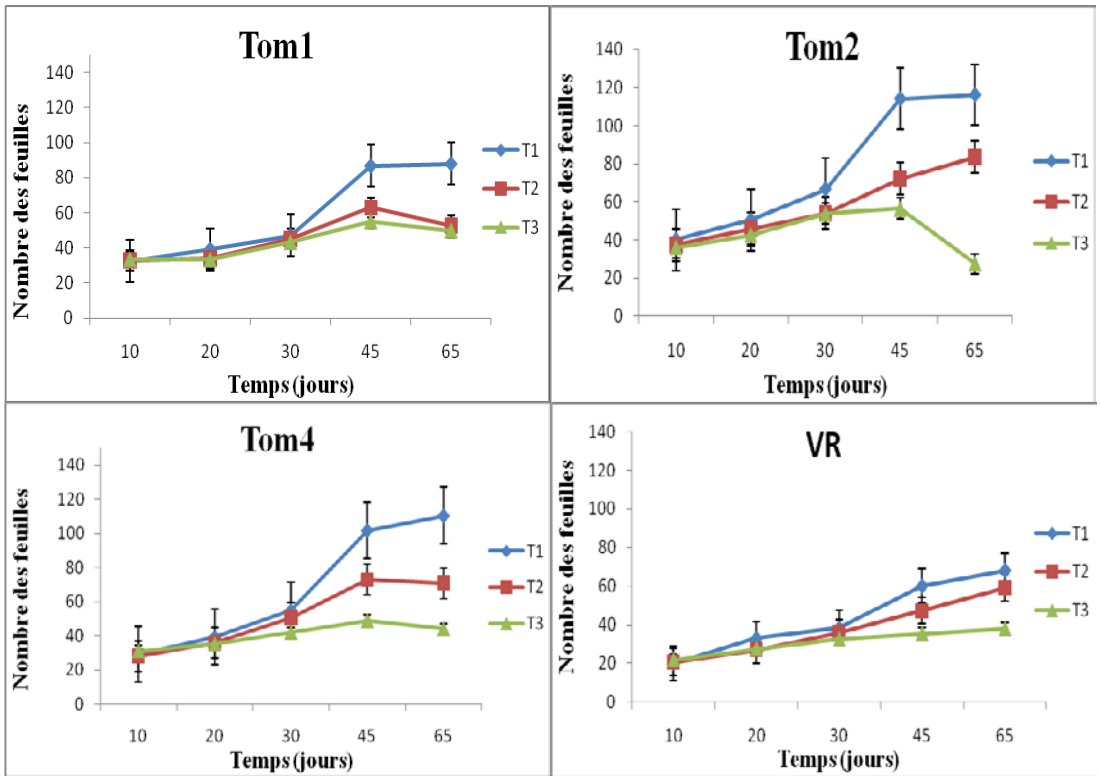
La figure (1) exprimant l’évolution de la hauteur des plantes de tomate en fonction du temps, montre que la croissance des tiges en hauteur chez les quatre variétés est tributaire de la dose de salinité. L’effet du stress salin sur l’évolution en hauteur de la plante s’accentue avec le temps. Chez ces plantes, l’évolution de la hauteur moyenne suit une allure à deux phases :

- **la première phase** s’étale sur environ 30 jours. Les plantes soumises aux trois régimes salins (T1, T2, T3) présentent au cours de cette phase une croissance linéaire et progressive jusqu’à la 30éme jours après l’application du stress salin ;
- **la deuxième phase** est marquée par une augmentation importante de la hauteur en fonction de temps, cette augmentation est beaucoup plus prononcée chez la variété Tom4.

L’examen de cette figure montre que pour le traitement témoin, la longueur des tiges chez Tom4 (70,1cm) est plus importante que les autres variétés. Ainsi, le stress salin a engendré des diminutions des hauteurs moyennes différentes selon la variété étudié. Par exemple, a la fin de cycle (65 jours), pour Tom1 la hauteur moyenne de la plante a été diminuée significativement par rapport au témoin de l’ordre 31,62 % ; de même pour Tom4, Tom 2 et Amel, les réductions étaient respectivement de 48,51 %; 49,77% et 36,75%. Donc, la variété Tom1 a montré qu’elle est la plus tolérante. En outre, la variété Tom2, a montré une tolérance limitée aux traitements appliqués. L’analyse de la variance (test Anova) nous a permis de montrer qu’après 65 jours que l’effet variété n’est pas significatif. Après l’application du stress, on enregistre cependant une diminution significative de la hauteur de la plante en fonction de stress salin. Ceci est confirmé par le test Anova qui montre un effet traitement hautement significatif ($P < 0,0001$).

2. Effet du stress salin sur l’évolution du nombre de feuilles

L’évolution du nombre des feuilles par plante chez les variétés de tomate, soumises à trois régimes salins est illustrée dans la figure2.



Fgure2. Effet de stress salin sur le nombre des feuilles de la plante des variétés de tomates étudiés

Les feuilles représentent la surface transpirante de la plante au niveau de laquelle se produisent les échanges gazeux et la synthèse de la sève élaborée.

La figure (2) exprimant la variation du nombre moyen de feuilles du tomate en fonction du temps, montre que pour les quatre variétés, le nombre des feuilles a augmenté aussi bien pour le traitement témoin que pour les traitements stressés au cours du temps. L’analyse de cette figure montre que l’évolution du nombre des feuilles par plante chez les variétés de tomate, soumises à trois régimes salins décrit une courbe avec une allure presque linéaire. Cette figure montre qu’en absence de salinité, le nombre moyen des feuilles est maximum. Les valeurs moyennes avoisinent les 88 feuilles chez Tom1, les 110,4 feuilles chez Tom4, les 116 feuilles chez Tom2 et 68 feuilles chez Amel. En effet, les deux régimes modéré et sévère sont significativement homogènes jusqu’à 30ème jours. Mais dés que le stress s’installe, la plante répond par une réduction du nombre des feuilles indépendamment de l’intensité du stress. A partir de 30émejours, la réponse de la plante au stress salin est tributaire de la dose de salinité.

Ainsi, le stress salin a engendré des diminutions de nombres moyennes des feuilles différentes selon la variété étudiée. Par exemple, a la fin de cycle (65 jours), pour Tom1 les nombres de feuilles moyennes de la plante a été diminuée significativement par rapport au témoin de l’ordre 43,19 % ; 60,15 % de même pour Tom4 ; 76,38% pour Tom2 et 44,12% pour Amel avec le traitement (T3). Donc, la variété Tom1 a montré qui est la plus tolérante. En outre, la variété Tom2, a montré une tolérance limitée aux traitements appliqués. Ces résultats est en accord avec les données de test Anova qui a permis de déceler un effet variété hautement significatif.

4-DISCUSSION

Les résultats de l’essai ont montré que le stress salin affecte négativement le développement végétatif des plantes de tomate. En effet, une augmentation de la salinité 5g/l (T2) ne favorise pas l’élongation de la tige de tomate en comparaison avec le régime témoin, notamment pour toutes les variétés.

Lorsque la salinité s’intensifie (9g/l (T3)), les plantes de tomate manifestent un certain nanisme arrive jusqu'à 49,77% pour Tom2 par rapport au témoin (T1). Le raccourcissement

de la tige est une caractéristique générale des plantes soumises a une contrainte saline. Ces résultats sont similaires à celles de (Hajer et *al, 2006)* qui ont montré que la culture de trois variétés de tomate

(Confiance (trust), Grâce et Plitz) à trois niveaux salins provoque la diminution de hauteur de la tige avec l'augmentation de salinité.
Ceci est montré aussi par Ben Naceur (2001) chez les céréales, Kadri et *al,* (2009) chez l'orge.
Ainsi, Boukrich (2004) chez *Artemisia herba-alba*, a montré que le stress salin n'affecte pas la longueur de la tige qu'à partir d'une concentration de 100mM dont on observe une réduction significative de la croissance (63% par rapport au témoin).
Rochdi et *al,* (2005) chez les agrumes, ont montré que la vigueur est affectée négativement par le degré du stress .D'autre part, si pour les plants témoins, le taux de croissance linéaire évolue uniformément pour tous les porte-greffes d'agrumes. En présence de NaCl, ce taux est relativement plus affecté par le traitement salin. En effet, le taux de croissance linéaire relative montre que la présence de NaCl à 35 mM stimule la croissance apicale des porte-greffes.
Aussi, pour la variation de nombre des feuilles, on a observé que lorsque le stress salin s'amplifie la tomate manifeste une diminution significative avec une meilleure tolérance chez la variété Tom1, ceci afin de réduire les pertes d'eau par transpiration ; vu que sous un régime salin sévère (T3) le taux de réduction de nombre moyen des feuilles/plante par comparaison au régime témoin est de 43,19%. Par contre, on a une tolérance limité chez Tom2 avec un taux de réduction de 76,38%.
Maggio et *al, (2003*) ont montré par l'étude de la réponse d'une culture de tomate de transformation (Lycopersicon lycopersicum Mill) soumise sur un terrain d'expérimentation qui avait été irriguée avec de l'eau saline pour plus de 10 ans, que le nombre moyen des feuilles/plante diminue avec l'augmentation de la salinité.
Boukrich (2004), remarque aussi que le nombre moyen des feuilles/plante chez *Artemisia herba-alba* soumises au stress salin, diminue avec l'augmentation de la salinité.

5-CONCLUSION GENERALE

La préservation et la valorisation des ressources phytogénétiques locales reste parmi les voies les plus importants pour la promotion de l'agriculture dans le monde et particulièrement en Tunisie. Ces ressources forment une base pour les programmes d'amélioration et de sélection. Leur diversité constitue une source des gènes de tolérance et de résistances aux différents problèmes biotiques et abiotiques limitant la production agricole.
La famille des solanacées comporte plusieurs espèces cultivées traditionnellement en Tunisie depuis des milliers d'années. Les cultivars locaux de ces espèces en Tunisie ont pu s'adapter aux conditions locales difficiles représentées principalement par l'aridité de notre climat.
A cet effet, le présent travail est une contribution à l'étude du comportement de trois variétés acclimatées de tomate (*Lycopersicon esculentum*) et une variété de référence (variété Amel) vis a vis du stress salin. En outre, on a essayé de dégager d'éventuels critères morpho-physiologiques en vue d'évaluation de la tolérance de cette espèce à la contrainte saline.
L'application de deux niveaux de stress salin durant tout le cycle de développement des plantes a affecté négativement tous les aspects de croissance (hauteur de la plante et nombre des feuilles). Toutefois, l'analyse statistique a révélé des effets significatifs des variétés, traduisant une diversité importante au sein des variétés étudiées. Ce travail, a permis la mise en valeur de nos ressources acclimatées en Tunisie de tomate et a justifié la voie d'évaluation de ce patrimoine génétique précieux. Les comportements des variétés étudiées en conditions de stress salin appliqué ont indiqué une diversité de cette collection étudiée. La diversité botanique semble être la source principale de la variabilité des comportements physiologiques des variétés de tomate étudiées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-Belkhodja M et Bidai Y. (2004). Réponse de la germination des graines d'*Atriplex halimus*L. sous stress salin. *Revue Sécheresse*. 15 : 331-335.
-Ben Naceur M., Rahmoune C., Sdiri H., Meddahi ML et Selmi M. (2001). Effet du stress salin sur la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse*. 12 : 167-174.
-Boukrich F. (2004). Réponses physiologiques au stress salin d'Artemisia herba-alba ASSO. Mastère de physiologie végétale. Université de Tunis El Manar. Faculté des sciences de Tunis. Département de biologie. 58p.

-FAO. (2012). http://www.fao.org
-Ferchichi A. (1997). Contribution à l’étude caryologique, caryosystématique, morphobiologique et écologique de la flore de la Tunisie présaharienne. *Doctorat d’Etat ;Fac. Des Sc. de Tunis*. 214p.
-Flowers T J. (2004). Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 55 : 307-319.
-A.S Hajer., Malibari A.A., Al-Zahrani H. S et Almaghrabi, O.A.(2006). Responses of three tomato cultivars to sea water salinity 1. Effect of salinity on the seedling growth. Department of Biological Sciences, Faculty of Science, King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia: 855-861.
-Kadri K., Maalam S., H. Cheikh M., Ben Abdallah A., Rahmoune C et Ben Naceur M. (2009). Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques accessions tunisiennes d’orge (*Hordeum vulgare* L.).*Sciences& Technologie*: 72-79.
-Maas EV. (1986). Salt tolerance of plants..*App.Agric.Res*, 1 : 12-26.
-Maggio A., De Pascale S., Angelino G., Ruggiero C et Barbieri G.(2003). Physiological response of tomato to saline irrigation in long-term salinized soils. Department of Agricultural. Engineering and Agronomy of the University of Naples Federico II, Italy, 10: 149–159.
-Rochdi A., Lemsellek J., Bousarhal A et Rachidai A. (2005). Evaluation sous serre de la tolérance à la salinité de quelques porte-greffes d’agrumes : *citrus aurantium* et deux hybrides de *poncirus trifoliata* (*poncirus* x *citrus sinensis* et *poncirus* x mandarinier *sunki*). Laboratoire Agrophysiologie et Biotechnologie de Culture *in vitro*. Faculté des Sciences. Université Ibn Tofail. B.P. 133, Kenitra 14000 (Maroc). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 9 (1) : 65–73.
-Taha R.,Mills D.,Heimer Y and Tall M. (2000). The relation between low k+/Na+ ratio and salt-tolerant in the wild tomato species Lycopersicon pennelli. *Plant Physiol*, 157 : 59-64.

Soil and water conservation in southeastern Tunisia contribution to the study of the sensitivity of jessour to destruction

Ines GASMI, Mohamed MOUSSA, Habib LAMOUROU
Institut des Régions Arides (IRA)
4119 - Médenine, Tunisia
E-mail: gasmi-ines@hotmail.fr

SUMMARY
South-east of Tunisia is characterized by an arid Mediterranean climate, the mean annual rainfall is between 100- 200 mm. Rainfalls in this area are basically torrential and stormy which promotes water erosion.
The most important system of agricultural production in this area is generally based on rainfed farming or it is based on the techniques of collecting water as the “jessour”.
Serious attempts to exploit the runoff for rainfed agriculture and reduce the water erosion in the mountain regions have led to a great increase in the popularity of the technique of “jessours”.
However, despite their significant morphological role, the “jessour” have been reported to have a fragile structure, which can be easily destroyed in case of excess of runoff retained behind dykes, representing therefore a real danger to the small villages in the downstream.
The risk of destruction was carefully assessed to overflow to all the works of a micro-watershed (El-Jouabit-Tounine-Mareth) in the mountains of Matmata.
Thus, this study is based on data from some parameters of jessour While the data processing can be done with statistical tools, or may be performed using a developed program.
The results of these computers processing allowed us to develop different types of cards with the help of mapping software.
Keywords-*componen; : Tunisia, arid, rainfed, jessour*

1-INTRODUCTION

Tunisia is located on the southern shore of the Mediterranean, remaining an arid to semi-arid climate in the three quarter of its territory [1]. It is basically characterized by limited and fragile natural resources, which are the subject of intense exploitation [2], associated with a marked water deficit, especially in the arid and semi-arid regions.
The southeastern Tunisia is characterized by an arid Mediterranean climate, with rainfall, despite its scarcity, possesses a torrential character threat by their high erosive activity at the agricultural soil.
Thereby, to harvest and store this waters, small hydraulic units called “jessour”, have been developed, since ancient in the “talwegs” as a common practice of retaining runoff and erosion products. But during the exceptional flood, the jessour knows several damages [3].
The determinations of conditional assessment of these jessour [4] represent, therefore, a major challenge for its optimal use as an efficient strategy of water storing and erosion prevention.
A brief overview of the assessment of the technique of “jessours” in the micro-watershed Jouabit, Mareth; province of Gabes is given below.

2-MATERIALS AND METHODS

Presentation of studied area

Tounine belongs to the delegation of Mareth in the southeast of the province of Gabes.
It is limited by:

- Beni zelten at the north
- Toujan at the south
- Techin at the west

The study focuses on the micro watershed Jouabit which lies between 33^{G} 29 'and 33^{G} 30' North Latitude and 10^{G} 10’ and 10G 07 ' East longitude.

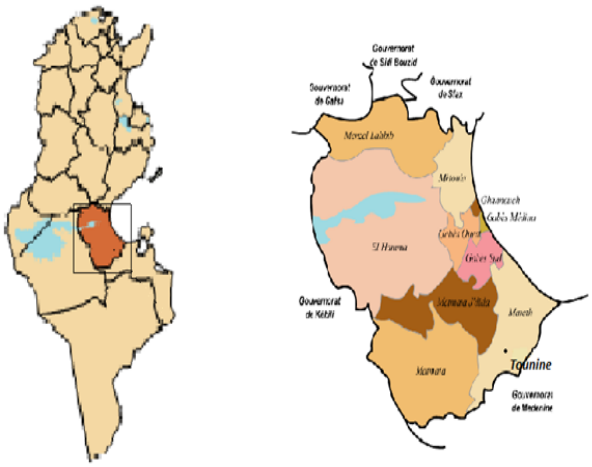


Figure 1. Location of the study area

This area is a predominantly arid with high rainfall variability, since most part of rainfall is concentrated in the winter months, giving rise to a fragile soil and poor effective vegetation especially during the spring season [5].

The stormy and violent characteristic of rainfall, that it intensity exceeds 100 mm / h for 5 min, has also contributed to severe and frequent floods, which have accelerated the erosion phenomena and the degradation of the soil in this region [6].

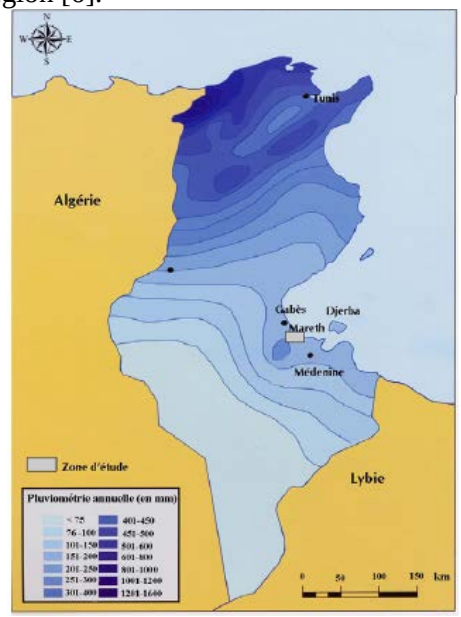


Figure 2. Isohyets map of Tunisia [6]

Methodology

Torrential rains have been recognized as one of the biggest problems facing the arid regions of southern Tunisia because of its higher erosion potential.

The purpose of the present paper is to investigate the possible effects of overflow at the micro watershed of Jouabit, in order to set the context for further assessment of the technique of “jessours”, developed to reduce the floods problem.

The following parameters have been elected on all units of micro watershed of Jouabit to accomplish desired goal:

- *retention height (m):* is the difference of height between the dyke and the surface of the "Jessr"
- *Retention surface of the “jessr” (m²)***:** is the area of the terrace covered by water when the "Jessr" is full

- *The surface of the catchment area of 'Jessr " (m²):* is the micro watershed area, that it outlet is the surface of retention
- *Retention capacity of "Jessr" (m^3):* is the maximum amount of water that may retain the *"Jessr"*.

1-Definition of jessour

The “jessour” are recognized as one of the most widely used traditional techniques to harvest water in the mountainous parts of southern Tunisia, chiefly at Matmata Mountains. It is an ancient system of collecting run-off from long slopes. The system is based in the building of earthen dams or dykes (tabias), that across the valley floors to trap the run-off water and silt [1], allowing the use of stored water in the planting of fruit trees and the practice of annual crops (cereals, vegetables…)[7]. Every “jessr” is composed by the following elements:

- *Tabia*: is a dyke built more frequently with soil from the bottom of the valley
- *Sirra*: the dyke is armed in the downstream by a wall of dry stones to become more powerful.
- *Kliss*: an important volume of loose of materials, silt and sand extracted from the slope by runoff is accumulated over time behind the tabia.
- *Menfess*: is a lateral spillway in the end of dyke
- *Masraf*: it is a central spillway which is much more difficult to construct, since it building requires a lot of investment in labor and materials.
- *Catchment area (impluvium):* Considered as a watershed of jessr. It’s naturally delimited by dividing line of water between the jessour.

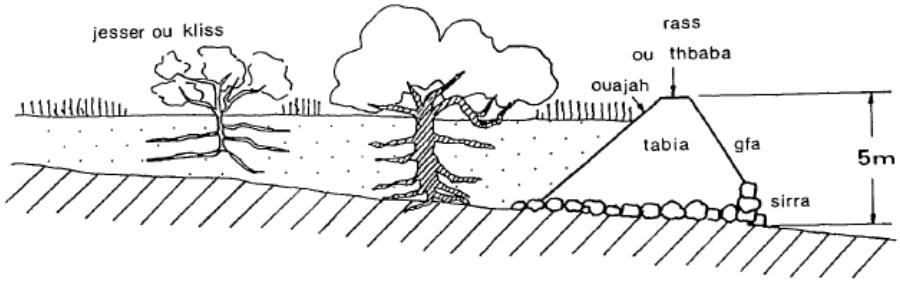


Figure 3. profile of a tabia and jisr [8]

Figure 4. Jessr filled with water

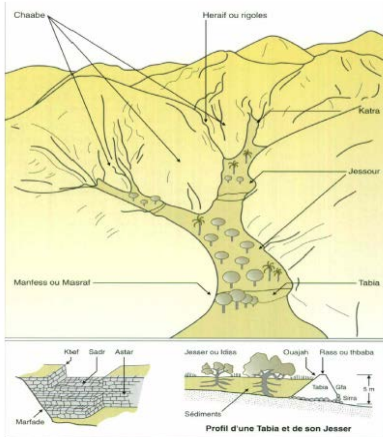


Figure 5. Schematic representation of jessour [9]

Data collect

To prepare our database of jessour, we're going to take for each jessr:

- GPS points at the center of each terrace
- Length, width of terrace and height of retention of jessr
- Length and height and the functional status of each dyke(tabia)
- Type of spillway and direction of discharge that is drown directly on the map by arrows
- Soil occupation

The retention capacity, retention surface and the surface of impluvium (catchment area) have been calculated using a computing tool for calculating as Microsoft excel and mapping software as Arc view Gis 3.2.

For mapping, satellite imagery from Google Earth with a definite scale, has been used in order to identify the jessours. Then, we reported the outline of these units and their direction of the spill on a Google Earth image, and define the catchment area of each "Jessr."

3-RESULTS

After having collected data on ground, we established a data analysis to know the current state of jessour to produce maps as map of delimitation of micro watershed and impluviums of jessours, functionality and height of retention of each jessr.

The area of our micro watershed is 304, 7719 ha containing almost 619 jessr, with a density of 2 jessr per ha, with very varied areas between 3 m² and 13 375 m².

Thus, the number of non-functional units in this micro watershed is 50 units, that to say 8%.

In fact, the non-functionality caused, by the destruction of the dykes caused by the runoff. Furthermore, the upstream jessour are the most affected by the destruction.

- Map of delimitation of micro watershed and catchment area of jessour: Shows the number and the limit of each jessr.

Figure 6. Delimitation of micro watershed and catchment area of jessour

- **Functionality map**

The jessour colored in yellow those who cannot retain water; we can say also a non functional jessour. The main cause of the non functionality is the strong runoff.

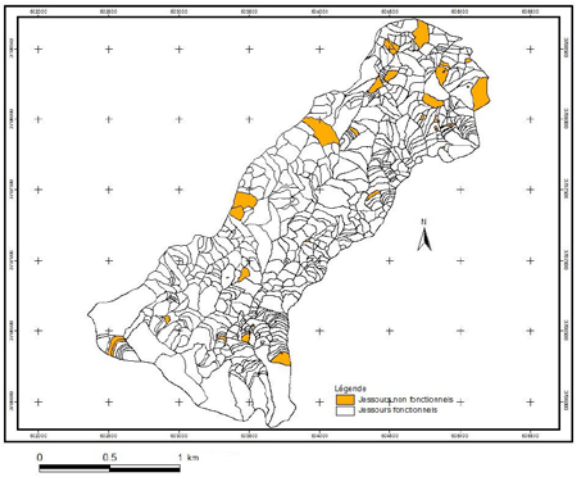


Figure 7. Functionality of jessour

- **Height of retention map**

Thus, an important percentage of jessour (52.8%) have the lowest height of retention ranging between 0 and 0.2 meters, or the upstream jessour are the most representative in this category.
The second class between 0.2 and 0.4 meters includes 42% of jessour located in the center of the micro watershed.
The third class between 0.4 and 0.8 meters includes 4.2% of jessour concentrated in the center and includes jessour which have large dimension.
And finally, the fourth class is between 0.8 and 2 meters includes the jessour which retain the most important volume of water; they present only 1%, nearly 6 or 7 jessours located in the center.

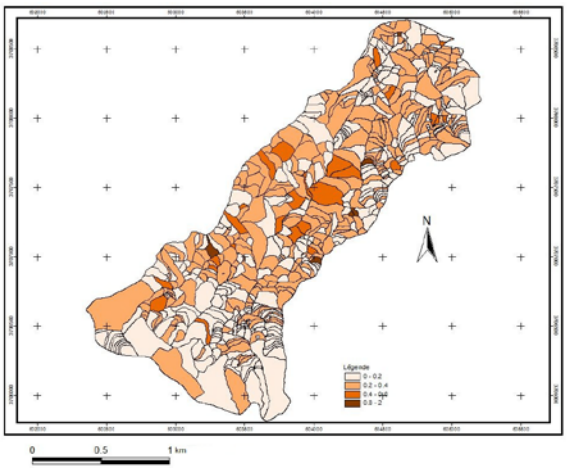


Figure 8. Height of retention

Principal component analysis (PCA) results :

The principal component analysis consisted on the selection of desired quantitative data followed by a flat sorting (mean and standard deviation).

Table 1 : Table of variable contribution

	Read	Means	Standard deviation
Longj	Length of terrace	32.36	23.13
Largj	Width of terrace	17.21	13.32
Hrj	Height of retention of Jessr	0.24	0.23
HT	Height of tabia	0.95	0.51
LongT	Length of tabia	29.19	23.42
Cr	Capacity of retention	2239.16	538.76
Nb-esp	Number of species	4.16	4.95
Sup-imp	Surface of catchment area	0.49	0.76

Study of eigenvalues

Table 2 : Table of eigenvalue

	F1	F2	F3
% variance	53.88	13.38	10.23
% accrued	53.88	67.27	77.50

Only 3 factors (F1, F2, and F3) have been chosen to be studied in order to obtain the maximum of information with the preservation of the minimum of factors.

Coordinates of variances

Digital synthesis of variables has been interpreted using graphical representation of the principal axes.

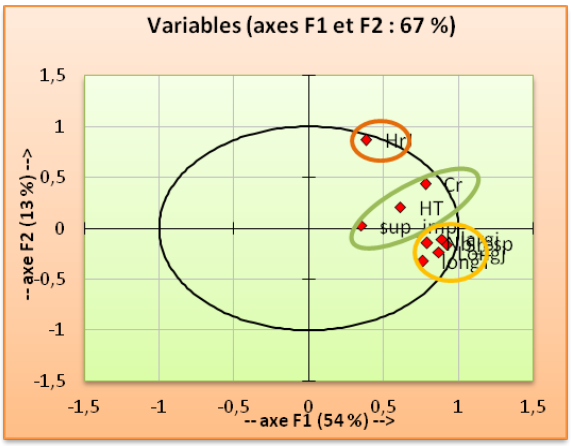


Figure 9. Representation of variables supported by the plane 1: 2 on the circle of correlation

As it is illustrated by the figure 9, the variables supported by the axe F1 and the variables supported by the axe F2, forms an angle that reflects the absence of a linear correlation.
Nevertheless, all variables studied have been almost close to the circle of correlation.
A strong correlation has been observed between the height of retention (Hrj), capacity of retention (Cr) and height of the tabia (HT). Similarly, a significant interrelation has been detected between the variables of groups 2 and 3.
In contrast, the surface of the catchment area showed a low correlation with other variables.
The PCA pointed out a weak relationship between the surface of jessr, the surface of the catchment area and the height of retention, which indicates a certain disproportion between these 3 factors. However, in some cases, the surface of jessr or the surface of the impluvium tended to be higher and the height of retention tended to be lower.

At the level of units 25 and 40, the height of retention has been shown to be more or less important in relation to the surface of jessr and the surface of its impluvium. Unacceptable or even important height of retention has been detected with an area less important of the surface of jessr and the surface of its impluvium.

4-CONCLUSION

The majority of jessour located on the studied watershed successfully retain water; there are only 50 non-functional jessr (8%), which have destroyed tabia because of the heavy flooding. The functional jessour has preserved its hydro morphological role thanks to the permanent effort of farmers who always try to maintain these small units.

Topography does not prevent tillage, which farmers are effectively occupied their plots.

The jessour in this area are characterized by the correct size and the correct positioning of drainage systems such as “Masraf” and “Manfess”, since they can present several discontinuities with tabia, which ensures their destruction.

Indeed, the type Masraf is generally located at the upstream and at the jessour that have an important size.

REFERENCES

-M. BOUFAROUA, (2002) : “Evolution des techniques de conservation des eaux et des sols en Tunisie”, Ministère de l’Agriculture, de l’Environnement et des Ressources Hydrauliques, pp : 625-635.

-N. OUNALLI, M.SGHAIER, (2009) : “Contribution à l’optimisation de l’allocation des ressources en eau et en sol dans les systèmes de production du bassin versant de l’Oued Oum Zessar (Sud-est de la Tunisie)’’, NEW MEDIT, pp : 31-36.

-B. CHEBANI, (1990) : Contribution à l’Etude De La Destruction des Jessour Dans Le Sud Tunisien, Revue des Régions Arides, pp : 137-172.

-M. MOUSSA, B. SOLE A, Y. CANTONY, M. KOUAKBI et B. CHEHBANI, (2011) : “Conservation des eaux et des sols : cas des Jessour de BRAOUKA, Monts des MATMATA-Tunisie’’, Revue des Régions Arides n°26, pp : 81-115.

-A. MTIMET, R. ESCADAFAL, (1982) : “Carte des Ressources en Sols de la Tunisie, au 1/200.000, feuille de Médenine’’, Ministère de l’agriculture, Direction Des Ressources en Eau et en Sol, Division des Sols, pp : 26.

-M. MOUSSA, (2007) : “Gestion des Ressources Naturelles en milieu aride Tunisien : Contribution à l’étude de la dynamique du milieu dans le Bassin versant de l’Oued SEGUI-MARETH (Sud Tunisien)’’, thèse de Doctorat, Université de Almeria, Espagne, pp : 244

-A. HILALI, (2011) : “Le système des « Jessour » Témoignage d’un patrimoine hydro-agricole dans les oasis Tunisienne’’, Colloque International, Usages Ecologiques, Economiques et Sociaux de l’Eau Agricole en Méditerranée : Quels enjeux pour quels services ?, pp : 13.

-J. BONVALLOT, (1979) : “Comportement des ouvrages des petite hydraulique dans la région de Médenine (Tunisie du Sud) au cours des pluies exceptionnelle de Mars 1979’’, Ministère de l’Agriculture, Direction des Ressources en Eau et en Sol, Division des Sols, pp : 33

-J. EL AMAMI, (1984) : “Les aménagements hydraulique traditionnels en Tunisie, centre de Recherche en Génie Rural (CRGR)’’, Tunis, Tunisia, pp : 69

.